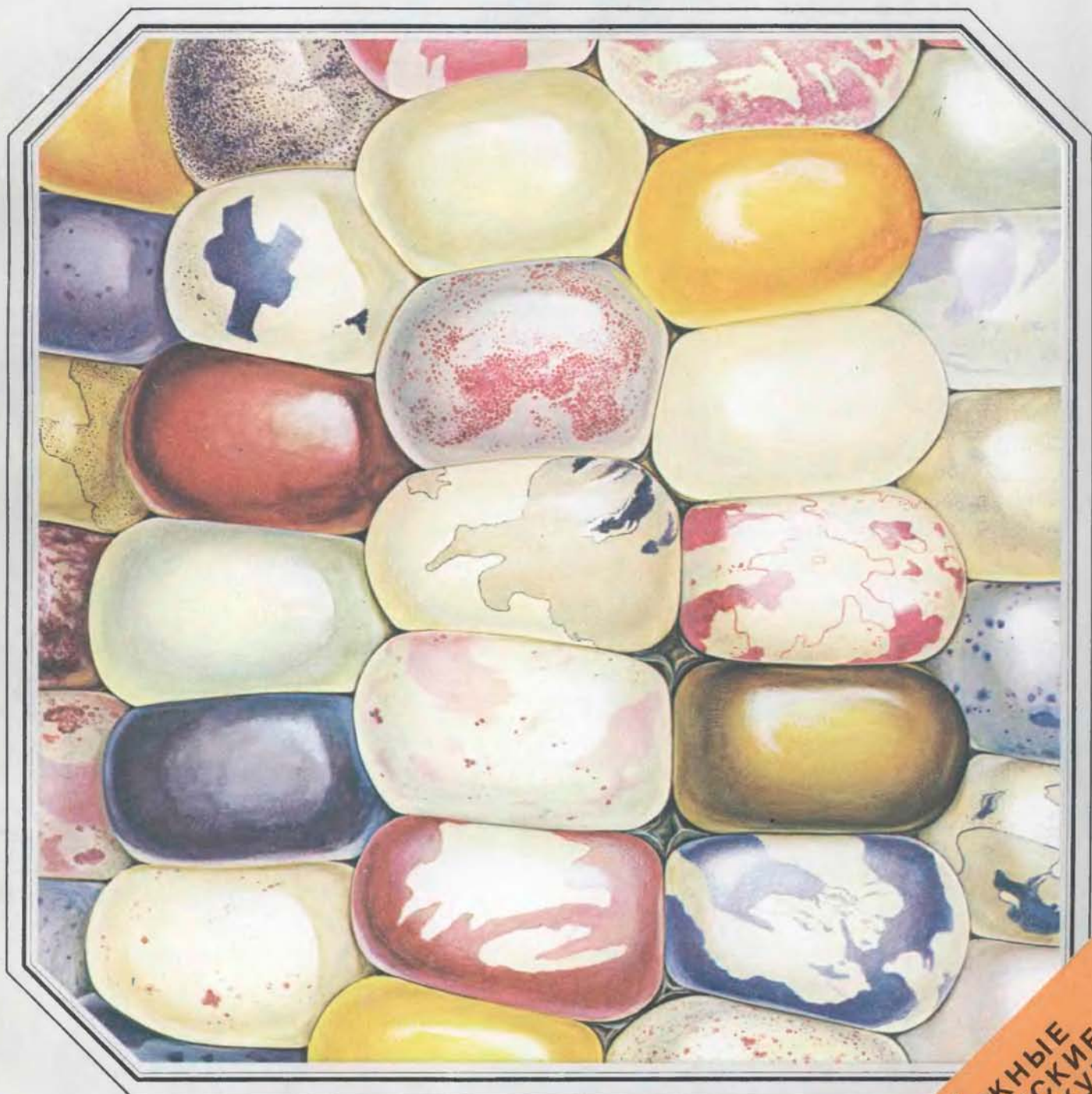


В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN

Издание на русском языке



Август **8** 1984

ПОДВИЖНЫЕ
ГЕНЕТИЧЕСКИЕ
ЭЛЕМЕНТЫ КУКУРУЗЫ

Издательство МИР предлагает:

Брюс Болт

В ГЛУБИНАХ ЗЕМЛИ

Перевод с английского



В начале нынешнего столетия наступил перелом в неразрешимом споре о строении недр Земли, который ознаменовал собой начало сейсмологической эры. В медицине рентгеновские лучи проходят сквозь человеческое тело и на фотопластинке возникает рисунок из черных и белых тонов, который глаз опытного специалиста способен воспринимать как структуру тела. Во многом сходная картина наблюдается при землетрясении, когда сейсмические волны проходят сквозь тело Земли и запи-

сываются сейсмографами на обсерваториях. Эти волны несут информацию о среде, через которую они прошли. Основная задача состоит в том, чтобы расшифровать записанные волны и получить как бы рентгеновский снимок нашей планеты. Подобно рентгенограммам, сейсмограммы с записанными землетрясениями дают лишь мутный силуэт структуры земли, и необходим большой опыт и квалифицированный анализ, чтобы получить более ясную картину.

1984 г., II л. Цена 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

№ 8 · АВГУСТ 1984

В номере:

СТАТЬИ

- 4 **Подвижные генетические элементы кукурузы** *Нина В. Федорофф*
Мобильные гены, открытые Барбарой Мак-Клинток 40 лет назад у кукурузы, обнаружены теперь и у других растений, а также у бактерий и у животных. В настоящее время несколько таких элементов генома кукурузы охарактеризовано на молекулярном уровне
(Scientific American, June 1984, Vol. 250, No. 6)
- 18 **Покрытие металлов золотом и серебром в доколумбовой Америке** *Хетер Лечтмен*
Мастерам андских культур были известны способы золочения и серебрения меди, а также обработки сплавов меди, золота и серебра для изготовления из них изделий с золотым или серебряным покрытием
(Scientific American, June 1984, Vol. 250, No. 6)
- 26 **Массовые вымирания в океане** *Стивен М. Стэнли*
За последние 700 млн. лет в течение коротких промежутков времени вымерли многие животные и растения. Геологический анализ свидетельствует, что большинство кризисов было вызвано похолоданием воды в океане
(Scientific American, June 1984, Vol. 250, No. 6)
- 36 **Грудное вскармливание** *Р. В. Шорт*
Противозачаточный эффект кормления грудью все больше забывается из-за того, что растет популярность искусственного вскармливания, которое в конечном итоге ведет к увеличению уровня рождаемости и к ухудшению здоровья детей младшего возраста
(Scientific American, April 1984, Vol. 250, No. 4)
- 44 **Несохранение четности в атомных системах** *Мари-Анн Бушья, Лионель Потье*
Не все эффекты, наблюдаемые в экспериментах с атомами, являются зеркально-симметричными. Асимметрия возникает вследствие слабых взаимодействий между электронами и атомными ядрами
(Scientific American, June 1984, Vol. 250, No. 6)
- 56 **Акустические и химические сигналы в жизненном цикле жука** *Ли К. Райкер*
Сложное взаимодействие акустических и химических сигналов дает возможность псевдотсуговому лубоеду привлекать партнера для спаривания, отпугивать агрессоров и регулировать плотность своей популяции
(Scientific American, June 1984, Vol. 250, No. 6)
- 66 **Межзвездная пыль: строение и эволюция** *Дж. Мейо Гринберг*
Частицы космической пыли имеют сложное строение — ядро, окруженное оболочкой из органических веществ. В оболочке, по-видимому, происходят различные химические процессы
(Scientific American, June 1984, Vol. 250, No. 6)
- 79 **Болты и гайки** *Фредерик Е. Грейвс*
Эти крепежные элементы с нарезанной на них резьбой были известны еще в XV в. Но и сегодня их конструкция и технология изготовления продолжают совершенствоваться
(Scientific American, June 1984, Vol. 250, No. 6)

РУБРИКИ

- 3 Об авторах
- 15 50 и 100 лет назад
- 17, 43, 65, 77 Наука и общество
- 87 Наука вокруг нас
- 92 Занимательный компьютер
- 98 Книги
- 103 Библиография

SCIENTIFIC AMERICAN

BOARD OF EDITORS

Gerard Piel
PUBLISHER

Dennis Flanagan
EDITOR

Brian P. Hayes
ASSOCIATE EDITOR

Philip Morrison
BOOK EDITOR

John M. Benditt
Peter G. Brown

Michael Feirtag

Robert Kunzig

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

© 1984 by Scientific American, Inc.

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

и использованы здесь в соответствии с лицензионным договором

В МИРЕ НАУКИ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

С. П. Капица

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Л. В. Шепелева

НАУЧНЫЕ РЕДАКТОРЫ

З. Е. Кожанова О. К. Кудрявов

Т. А. Румянцева А. М. Смотров

А. Ю. Краснопевцев

ЛИТЕРАТУРНЫЕ РЕДАКТОРЫ

Л. И. Леонова

М. М. Попова

ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР

С. А. Стулов

ЗАВЕДУЮЩАЯ РЕДАКЦИЕЙ

И. В. Лунёва

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР

Т. К. Такташова

КОРРЕКТОР

Р. Л. Вибке

ОФОРМЛЕНИЕ ОБЛОЖКИ,

ТИПОГРАФИКА РУССКОГО ИЗДАНИЯ,

МАКЕТ СМЕННЫХ ПОЛОС:

М. Г. Жуков

ТИТУЛЬНАЯ НАДПИСЬ,

ШРИФТОВЫЕ РАБОТЫ:

В. В. Ефимов

АДРЕС РЕДАКЦИИ

129820, Москва, ГСП

1-й Рижский пер., 2

ТЕЛЕФОН РЕДАКЦИИ

286.2588

© Перевод на русский язык и оформление, «Мир», 1984

На обложке



ПОДВИЖНЫЕ ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ КУКУРУЗЫ

Перед вами пример удивительной мозаичности в окраске зерен кукурузы, причина которой — эффект мобильных генетических элементов, способных перемещаться по геному участков ДНК, которые в конце 40-х годов обнаружила Барбара Мак-Клинток. С тех пор мобильные элементы были найдены также у других растений, у бактерий и у животных. В настоящее время несколько таких элементов из кукурузы выделено и охарактеризовано на молекулярном уровне (см. статью Нины В. Федорофф «Подвижные генетические элементы кукурузы» на с. 4). Перемещаясь из одного сайта генома в другой, они вызывают мутации и перестройки хромосом, влияя тем самым на экспрессию генов. Например, при встраивании элемента внутрь гена, отвечающего за окраску зерен, тот инактивируется, и в результате зерна получаются бесцветными; если затем элемент переместится в другое место, функция гена восстановится, и на зерне возникнут окрашенные пятна. Изображенные на рисунке кукурузные зерна взяты из початков с нескольких растений, различающихся генетически.

Иллюстрации

ОБЛОЖКА: Enid Kotschnig

СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК
4-6	Fritz Goro	27	Steven M. Stanley, Johns Hopkins University	88-90	Michael Goodman
7-10	Bunji Tagawa	92-95	Alan D. Iselin		
11	Nina V. Fedoroff, Carnegie Institution of Washington, and Bunji Tagawa (вверху); Bunji Tagawa (внизу)	28-33	Patricia J. Wynne		
		37-41	Ilil Arbell		
		42	Wellcome Institute for the History of Medicine		
12, 13	Bunji Tagawa	45-52	Walken Graphics		
19	A. I. Goldberg (вверху); Robert Sonin (в середине); Metropolitan Museum of Art (внизу)	56	Malcolm M. Furniss, University of Idaho		
20	Metropolitan Museum of Art (вверху); Museo del Oro, Bogotá (внизу)	58-63	Tom Prentiss		
21	Alan D. Iselin	67	Kitt Peak National Observatory		
22-23	Heather Lechtman, Massachusetts Institute of Technology	68	John Moss, Black Star		
		69-72	Allen Beechel		
		73	John Moss, Black Star		
		74-76	Allen Beechel		
		80-84	Walken Graphics		
24-25	Alan D. Iselin	85	National Machinery Co.		

Об авторах

Nina V. Fedoroff (НИНА В. ФЕДОРОВИЧ «Подвижные генетические элементы кукурузы») — сотрудник отдела эмбриологии Института Карнеги в Вашингтоне и доцент биологии в Университете Джонса Гопкинса. Она пишет о себе: «Незадолго до окончания Сиракьюсского университета я оставила занятия и уехала в Филадельфию учиться музыке у Уильяма Кинкеда, чтобы стать музыкантом. Но года через два поняла, что должна посвятить себя науке, и вернулась в Сиракьюс. Дипломную работу выполнила в Рокфеллеровском университете. В 1977 г. в Колд-Спринг-Харборе я познакомилась с Барбарой Мак-Клинтон и заинтересовалась подвижными генетическими элементами, которые она открыла у кукурузы. Цель ее исследований — выделить эти элементы — казалась мне фантастической, но необычайно заманчивой, и я пришла работать в Институт Карнеги, который замечателен тем, что в нем уделяется много внимания исследованиям с дальней перспективой, благодаря чему я и смогла заняться молекулярной биологией кукурузы, которая тогда находилась еще в зачаточном состоянии».

Heather Lechtman (ХЕТЕР ЛЕЧТМЕН «Покрытие металлов золотом и серебром в доколумбовой Америке») — профессор археологии и древней технологии Массачусетского технологического института. После получения степени бакалавра в колледже Вассар работала физиком-ассистентом на факультете физики и биофизики онкологического института в Слоун-Кеттеринг. Через четыре года перешла в Американский институт физики, где занимала должность помощника директора. Поступив затем в Нью-Йоркский университет для продолжения обучения, получила там степень магистра искусств и диплом специалиста по сохранению памятников искусств и археологических материалов. После получения степени магистра работает в Массачусетском технологическом институте. Лечтмен является директором Международного исследовательского центра по изучению археологических и этнологических материалов.

Steven M. Stanley (СТИВЕН М. СТЭНЛИ «Массовые вымирания в океане») пишет: «Я профессор палеобиологии отделения наук о планетах в Университете Джонса Гопкинса. Закончил Принстонский университет, получил докторскую степень в Йельском университете. Меня интересуют проблемы, находящиеся на стыке геологии и биологии. Моя предыдущая работа была связана с изучением функцио-

нальной морфологии, эволюции морских организмов и природы крупномасштабной эволюции. Последнее время я исследовал моллюсков Флориды, которые вымерли в начале последнего ледникового периода».

R. V. Short (Р. В. ШОРТ «Грудное вскармливание») — профессор кафедры анатомии и физиологии Университета Монаш (Австралия). В 1954 г. получил в Бристольском университете (Великобритания) диплом ветеринара. Затем уехал в США и в 1955 г. в Висконсинском университете стал магистром в области генетики, после чего вернулся в Великобританию. В 1958 г. в Кембриджском университете получил степень доктора философии за работы по биологии размножения, а в 1969 г. — степень доктора естественных наук в той же области. Читал в Кембриджском университете лекции по этой тематике. Десять лет Шорт возглавлял отдел биологии размножения в Совете медицинских исследований в Эдинбурге. Затем переехал в Австралию, в Клейтон. Помимо кафедры в Университете Монаш руководит исследованиями, касающимися проблем семьи, в исследовательском центре в Чепел-Хилл, шт. Северная Каролина (США). Область научных интересов — сравнительное изучение размножения у млекопитающих, а также методы предупреждения беременности.

Marie-Anne Bouchiat, Lionel Pottier (МАРИ-АНН БУШЬЯ, ЛИОНЕЛЬ ПОТЬЕ «Несохранение четности в атомных системах») — сотрудники Французского национального центра научных исследований (CNRS), которые с 1974 г. совместно изучали проблему, являющуюся темой настоящей статьи. М.-А. Бушья работает в физической лаборатории Высшей нормальной школы в Париже. После окончания Высшей нормальной школы в Севре два года работала в Принстонском университете (США). По возвращении М.-А. Бушья продолжила свою научную деятельность в Высшей нормальной школе в Париже. В 1964 г. получила докторскую степень. Л. Потье выполнил первые эксперименты в лаборатории М.-А. Бушья, будучи еще старшим курсником Высшей нормальной школы, там же получил степень бакалавра и продолжал свои исследования. Докторскую степень получил в 1972 г.

Lee C. Ryker (ЛИ К. РАЙКЕР «Акустические и химические сигналы в жизненном цикле жука») является научным сотрудником Университета Симона Фрейзера в пров. Британская Колумбия (Канада), где занимается проблемами

лесной энтомологии. Он также преподает естествознание в Высшей школе Хедрика-младшего в г. Медфорд, шт. Орегон. Окончил Колледж Франклина (шт. Индиана) в 1963 г. со степенью бакалавра; степень магистра в области биологии получил в Мичиганском университете. В 1965 г. переехал в Орегон, где в течение нескольких лет вел преподавательскую работу. Затем продолжил свое образование в Университете шт. Орегон, где в 1971 г. получил еще одну степень магистра по биологии, а в 1975 г. — степень доктора философии в области энтомологии. После защиты докторской диссертации стал сотрудником лаборатории лесной энтомологии того же университета, где под руководством Дж. Рудинского занимался биологией псевдотсугового лубоеда и других хозяйственно важных жуков-короедов. После смерти Рудинского в 1980 г. Райкер еще два года продолжал эти исследования, которые финансировались Национальным научным фондом.

J. Mayo Greenberg (ДЖ. МЕЙО ГРИНБЕРГ «Межзвездная пыль: строение и эволюция») — профессор в лаборатории астрофизики Лейденского университета. Родился в Балтиморе. Закончил Университет Джонса Гопкинса, где в 1948 г. получил степень доктора философии в области физики. С 1952 г. работал в Ренсселеровском политехническом институте, с 1957 г. — профессор физики. В конце 50-х годов стал заниматься астрономией. В 1968—1969 гг. был приглашен в Лейденский университет для работы в лаборатории астрофизики. По возвращении в США был профессором астрономии в Нью-Йоркском университете в Олбани. С 1975 г. Гринберг постоянно работает в Лейденском университете, где он основал лабораторию по изучению воздействия ультрафиолетового излучения на межзвездные пылевые частицы.

Frederick E. Graves (ФРЕДЕРИК Е. ГРЕЙВС «Болты и гайки») — инженер-консультант по вопросам производства крепежных изделий. После окончания Пенсильванского университета и получения степени бакалавра поступил на работу инженером в Военно-исторический институт, где проработал три года. Затем в течение девяти лет работал в компаниях Surface Combustion Corp. и W. S. Rockwell. В 1956 г. Грейвс поступил на службу в фирму Russell, Burdsall and Ward Corp., являющуюся основным производителем промышленных крепежных деталей. В 1959 г. он стал техническим директором компании. Эту должность Грейвс занимал в течение 10 лет, а затем оставил свою работу и организовал собственную консультационную фирму.



СТАБИЛЬНЫЕ И НЕСТАБИЛЬНЫЕ МУТАЦИИ. Бесцветность части зерен в початке *слева* объясняется стабильной мутацией в гене биосинтеза пурпурного пигмента. Два других початка — пример нестабильных мутаций. *В центре:* пятна возникают на бесцветных зернах при транспозиции *Spm*-элемента из генетического локуса, контролирующего син-

тез пурпурного пигмента; если это происходит на ранней стадии развития зерна, то пятна крупные, если позже — то мелкие. «Бронзовые» зерна (*справа*) получаются при мутации, вызванной *Ac*-элементом, частично нарушающим синтез пигмента. Когда *Ac* удаляется из гена, на зернах появляются пурпурные пятна.

Подвижные генетические элементы кукурузы

*Мобильные гены, открытые Барбарой Мак-Клинтон
40 лет назад у кукурузы,
обнаружены теперь и у других растений,
а также у бактерий и у животных. В настоящее время
несколько таких элементов генома кукурузы
охарактеризовано на молекулярном уровне*

НИНА В. ФЕДОРОФФ

МОБИЛЬНЫЙ генетический элемент — это участок ДНК, способный транспозироваться, т.е. перемещаться с места на место, в геноме организма (геном — это полный набор генов). Он вырезается из одного сайта и встраивается в новый сайт либо на той же, либо на другой хромосоме. Структура такого участка может быть очень простой: например, в него входит всего несколько генов, обеспечивающих транспозицию, а с обоих концов имеются особые последовательности, служащие для узнавания. Перемещение элемента может вызывать мутации и перестройки хромосом и таким образом влиять на экспрессию других генов. Оказывается, хромосомы буквально испещрены такими мобильными элементами, или, как их называют, «прыгающими» генами; предполагается, что благодаря их способности изменять экспрессию и структуру других генов и даже структуру генома в целом действует важный механизм долговременных генетических изменений, играющих центральную роль в эволюции.

Открытие и выделение «прыгающих» генов

Мобильные элементы были впервые обнаружены в растениях кукурузы в 40-х годах в результате серии замечательных генетических исследований, проведенных Барбарой Мак-Клинтон из отдела генетики Вашингтонского института Карнеги в Колд-Спринг-Харборе (шт. Нью-Йорк). За последние 20 лет подобные элементы были обнаружены у всех исследованных на этот предмет организмов, от бактерий до червей и плодовых мушек. Некоторые элементы были выделены и проанализированы на молекулярном уровне, однако до недавнего времени мобильные элементы кукурузы оставались генетической абстракцией.

В течение последних нескольких лет в моей лаборатории в отделе эмбриологии Института Карнеги в Балтиморе я пользовалась счастливой возможностью применить новые подходы молекулярной биологии, чтобы выделить и исследовать мобильные гены кукурузы, открытые Мак-Клинтон. Некоторые из элементов, обнаруженных впервые почти четыре десятилетия назад, теперь выделены, и анализ их структуры и последовательностей ДНК углубил наши представления о том, как они функционируют.

Новые представления

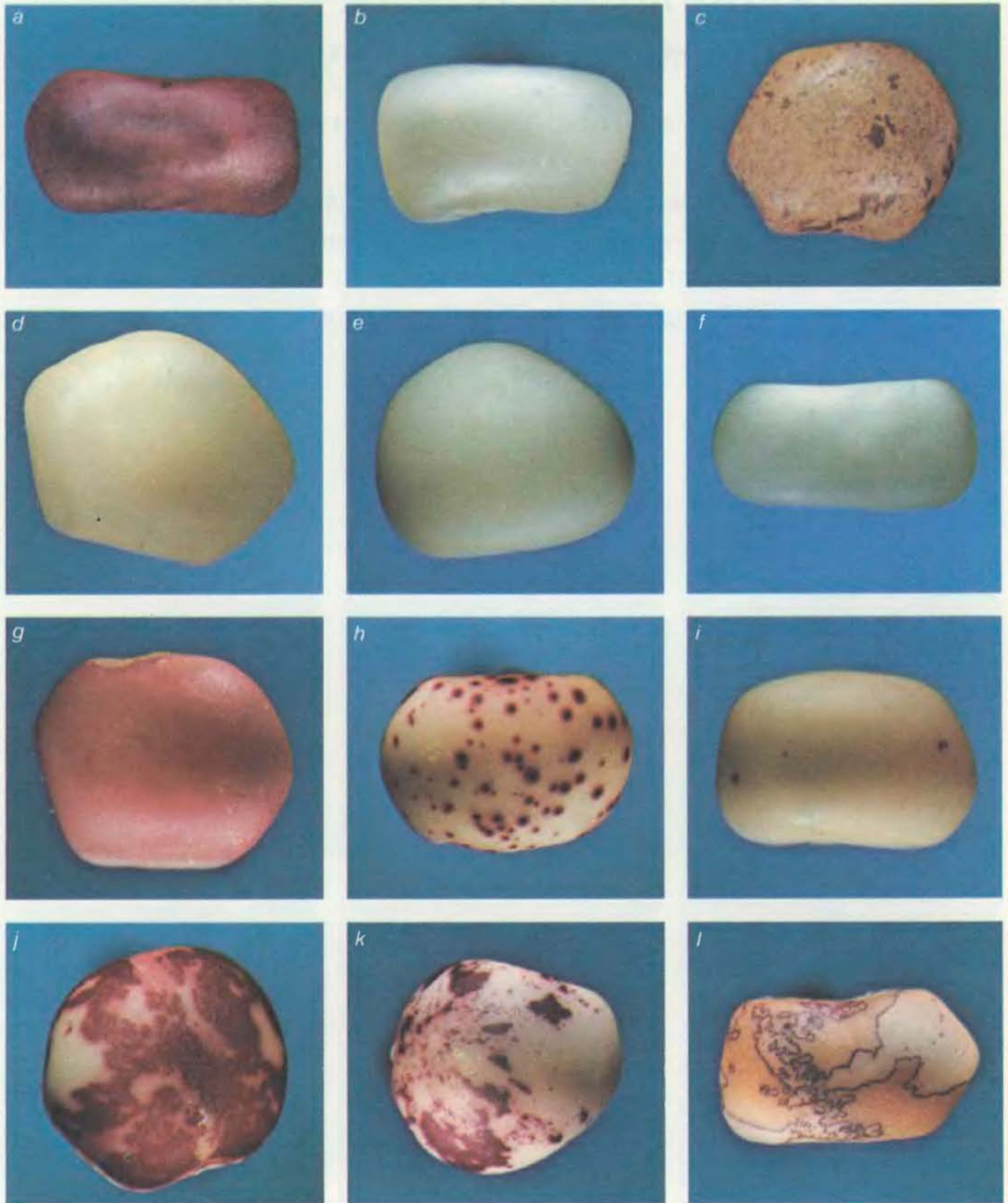
Представление о том, что мобильные элементы многочисленны и вездесущи, сложилось недавно. До конца 70-х годов считалось, что геномы организмов вполне стабильны. Гены, которые определяют структурные и биохимические признаки, — это дискретные элементы, расположенные в ряд на линейных хромосомах. Каждый ген занимает в геноме фиксированное положение, которое обычно не меняется в ряду поколений. Стабильность хромосом и генов лежала в основе работ классических генетиков, которые идентифицировали гены и вычисляли их положение на хромосомах, не выделяя самих генов и не представляя себе их химической природы. Они изучали ген, анализируя наследование признака, находящегося под контролем одного отдельного менделевского «наследственного фактора». Они составляли карты относительного расположения генов, исходя из признаков потомства, получавшегося при последовательных скрещиваниях, которые позволяли определить, какие гены сцеплены друг с другом и насколько тесно это сцепление. Позже специалисты по биохимической генетике и молекулярной биологии установили, каким образом из поколения в поко-

ление происходит воспроизведение генетического материала — ДНК. Акцент в исследованиях по-прежнему делался на постоянстве генов и хромосом, а также на общих закономерностях наследственности.

У правил, однако, бывают исключения. Большинство генов действительно остаются на своих местах, но некоторые из них перемешаются. Стараясь понять правила, можно почти не обращать внимания на исключения, поэтому первые указания на то, что некоторые гены (или, в общем случае, генетические локусы) меняют свое место, большей частью игнорировались. Первым ключом к транспозиции, о которой в то время совершенно не думали, стали результаты анализа нестабильных мутаций. Мутация — это изменение в ДНК, и обычно она приводит к инактивации гена. В большинстве слу-



ОРАНЖЕВО-КРАСНЫЕ ПОЛОСКИ на кукурузном зерне — результат нестабильной мутации. Мобильный элемент *Mp*, встроившись в локус *P*, нарушил синтез пигмента, но в некоторых клетках он переместился из локуса, мутация при этом ревертирует, и возникают пигментированные полоски. Транспозицию *Mp* исследовал И. Гринблатт, он и предоставил это зерно.



ЗЕРНА КУКУРУЗЫ с мутациями и при транспозициях. Локус *C* контролирует синтез пурпурного пигмента. Нормальное зерно ярко окрашено (а). Встраивание *Ds*-элемента инактивирует ген, и зерно бесцветное (b). В присутствии *Ac Ds* в некоторых клетках перемещается из локуса *C*, и зерно пятнистое (c). Локус *waxy* кодирует фермент синтеза амилозы; когда он активен, эндосперм зерна прозрачный (d). Если в локус *waxy* встроился *Ac*, эндосперм мутный (e). Транспозиция *Ac* приводит к мозаике из прозрачных и мутных участков (f). Дефектный *Spm*-элемент может встраиваться в локус синтеза пигмента так, что ген частично инактивируется и зерно пигментировано слабо (g). Недефектный *Spm* влия-

ет на окраску двояко. Он супрессирует ген, и зерно делается бесцветным, кроме того, он действует как мутатор, что приводит к транспозиции дефектного *Spm*, и возникают клоны ревертантных окрашенных клеток (h). Если транспозиции редки, пятен мало (i); если они происходят на ранней стадии развития зерна, то ревертантные клоны крупные (j). Существует *Spm* активный и неактивный попеременно; поэтому на зерне появляются пигментированные участки, а в них мелкие бесцветные пятна (k). При разрыве хромосом в месте встраивания *Ds* возникает рисунок из бледных участков, разделенных яркими линиями (l).

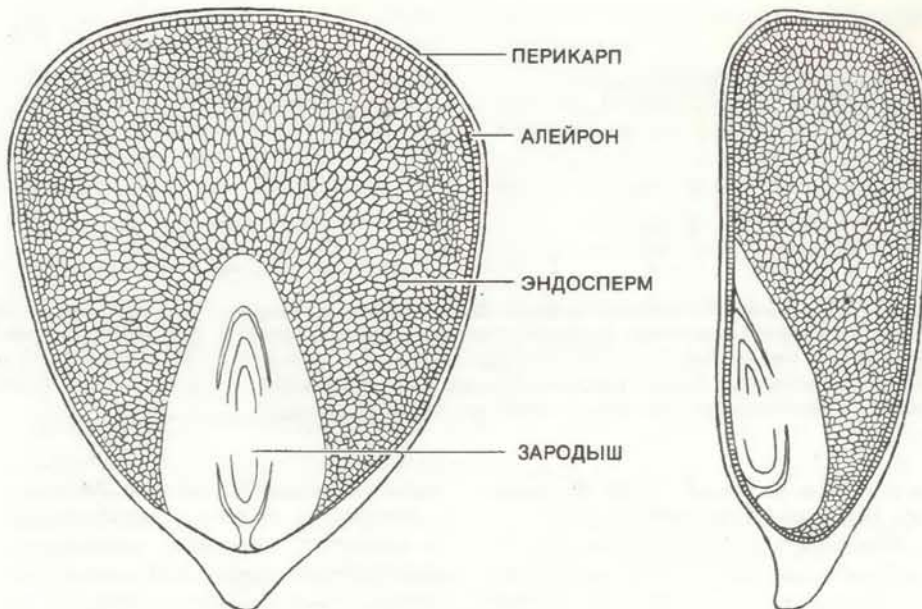
чаев изменение практически необратимо. Повреждение может спонтанно ликвидироваться при обратной мутации, или реверсии, но происходит это у потомков мутантного организма приблизительно в одном случае на миллион. Однако для некоторых мутаций частота реверсий настолько велика, что организм напоминает лоскутное одеяло, собранное из участков мутантной и нормальной (ревертантной) ткани; вследствие таких мутаций организм может выглядеть мозаичным.

Мозаичность и реверсии

В первые десятилетия нашего столетия Р. Эмерсон (Корнеллский университет) исследовал вид мозаичности, которая весьма обычна для линий кукурузы, называемых индейским зерном. Эта мозаичность вызывается мутацией, нарушающей синтез оранжево-красного пигмента в перикарпе — плотном защитном слое клеток, покрывающем зерно снаружи. В отличие от большинства мутаций она настолько нестабильна, что при созревании зерна ревертирует многократно, и в результате получаются чередующиеся полосы пигментированных и неокрашенных клеток. Эмерсон понял, что полосатость возникает из-за нестабильных мутаций, однако он не знал их причин.

В 30-х годах М. Роадс (в настоящее время он работает в Индианском университете) установил, что генетическая нестабильность у кукурузы зависит от некоторых условий. Стабильная на первый взгляд мутация может стать нестабильной в присутствии определенного гена. Роадс исследовал мутацию, которая нарушает синтез пурпурного пигмента в алейроне — самом внешнем слое эндосперма зерна, лежащем непосредственно под перикарпом, вследствие чего этот слой делается бесцветным. Роадс продемонстрировал, что, когда в клетке присутствует специфический ген, мутация ревертирует и на общем бесцветном фоне алейрона возникают пятна пурпурного пигмента. Он назвал генетический локус, вызывающий образование пятен, *Dotted* (что означает «усеянный точками»). Тогда было неизвестно, что локус *Dotted* может перемещаться.

Первым, кто догадался, что генетический элемент способен к транспозиции, была Барбара Мак-Клинток. Ее первое сообщение о том, что генетический локус может перемещаться, было опубликовано в 1947 г. и долго считалось досадным курьезом, так как оставалось неясным, что, собственно, это означает и в каком направлении продолжать исследования. Однако теперь оно признано одним из наиболее важных генетических открытий века, и в прошлом году Мак-Клинток была при-



ЗЕРНО КУКУРУЗЫ в разрезе. Помимо зародыша зерно содержит питающую его ткань — эндосперм. Многие из изученных нестабильных мутаций влияют на синтез пигментов в алейроне и перикарпе или крахмала в эндосперме.

суждена Нобелевская премия.

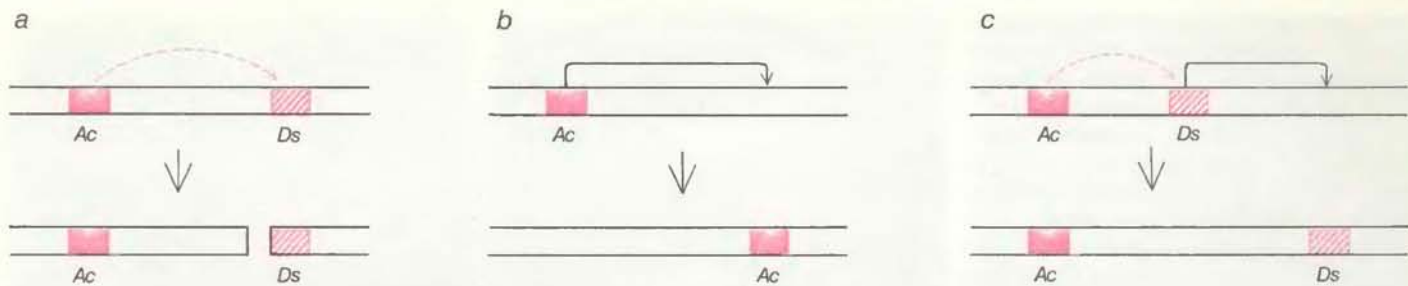
Мак-Клинток обнаружила транспозицию, изучая свойства разорванного хромосом у кукурузы. Она установила, что такие хромосомы нарушают упорядоченное распределение генов (они весьма нестабильны и участвуют в хромосомных перестройках, вызывающих в геноме глубокие повреждения), и подметила, что растения с разорванными хромосомами часто дают мозаичное потомство. Мозаичность наблюдалась по нескольким признакам — это позволило Мак-Клинток предположить, что возникал ряд новых нестабильных мутаций.

Локус, транспозицию которого наблюдала Мак-Клинток, оказался действительно весьма причудливым. Он проявлялся как специфический сайт разрыва, или диссоциации хромосом, за что получил название диссоциатора, или *Ds*. Хотя *Ds* — это сайт разрыва, сам по себе он не вызывает разрывов — они происходят лишь в присутствии другого локуса. Мак-Клинток назвала второй локус активатором, или *Ac*, поскольку он способен активировать разрывы в локусе *Ds*. Она убедилась в том, что характер наследования *Ac* и *Ds* необычен. *Ac* большую часть времени вел себя как обычный генетический локус, однако в некоторых случаях (всего лишь у нескольких процентов потомства) он исчезал или перемещался в другой участок той же либо другой хромосомы. Локус *Ds* также был способен к транспозиции, однако для этого требовалось присутствие *Ac*, так же как и для разрыва хромосомы, содержащей локус *Ds*. Мак-Клинток пришла к выводу, что *Ac* может перемещаться самостоятельно (автономно), а *Ds* только при активации его *Ac*.

Реверсия и транспозиция

Мак-Клинток провела серию экспериментов, в которых выяснилась связь между нестабильными мутациями и транспозицией. Она проанализировала мутацию, при которой *Ds* переместился из своего исходного сайта в локус, обозначаемый *C*, исследованный ранее рядом генетиков. Продуктом локуса *C* является фактор, необходимый для синтеза пурпурного пигмента в алейроне; было известно, что при мутациях в локусе *C* нарушается образование этого пигмента. Мак-Клинток доказала, что изученная ею мутация в *C* вызвана встраиванием в него *Ds*. Она показала, что (в присутствии *Ac*) в локусе *C* происходит такой же разрыв хромосомы, как и в исходном сайте расположения *Ds*. Однако помимо этого *Ds* вызывал в локусе *C* мутацию, напоминавшую те мутации, которые исследовались Эмерсоном и Роадсом. Без *Ac* мутация была стабильной: зерна были бесцветными, а все растение зеленым. Если же в геноме присутствовал *Ac*, в некоторых клетках мутация ревертировала и на зернах и самом растении наблюдались пигментированные участки (см. зерна *a-c* на рисунке слева).

Стала проясняться генетическая основа нестабильных мутаций. В некоторых зернах реверсия произошла достаточно рано и затронула клетки зародыша, поэтому она могла передаваться дочерним растениям. Мак-Клинток выращивала растения из редких полностью ревертантных зерен и обнаружила, что во всех случаях в локусе *C* уже не было *Ds*. Локус теперь функционировал нормально. Более того, даже в присутствии *Ac* хромосома более не



ЛОКУС *Activator* (*Ac*) назван так за его способность активировать разрыв хромосомы в другом локусе — *Dissociation*, или *Ds* (a). На рисунке оба локуса показаны в одной хромосоме, но они могут быть и в разных хромосомах. *Ac* обеспечивает транспозицию как самого себя (b), так и *Ds* (c) в дру-

гой сайт той же или другой хромосомы. *Ds* не способен перемещаться, пока в клетке нет *Ac*. *Ac* и *Ds* принадлежат к одному семейству, но *Ac* — автономный мобильный элемент, а *Ds* — неавтономный.

разрывалась в локусе *C*, как это происходило, пока в нем находился *Ds*.

Мак-Клинтон сделала вывод, что исходную мутацию, изменяющую окраску алейрона, вызывало встраивание *Ds*, а его удаление приводило к реверсии. Мозаичность семян и растений, таким образом, была следствием того, что в ходе развития во многих клетках произошло вырезание *Ds* из локуса *C*. Этот вывод подкреплялся тем фактом, что в пурпурных пятнах на зернах никогда не появлялось мелких бесцветных участков, которые обязательно имелись бы, если бы продолжались разрывы хромосомы, обусловленные локусом *Ds*. Мак-Клинтон пришла к заключению, что нестабильная мутация может возникать в результате встраивания подвижного генетического элемента в тот или иной локус. Высокая частота реверсий, приводящих к характерному мозаичному облику, объясняется тем, что часто происходит транспозиция элемента из локуса.

Описав свои первые исследования транспозиции, Мак-Клинтон продолжила анализ *Ac* и *Ds*. Наряду с ней этим занимались и другие специалисты по генетике кукурузы. Были идентифицированы и охарактеризованы новые подвижные элементы. Р.А. Бринк из Висконсинского университета в Мадисоне установил, что нестабильная му-

тация, которую исследовал Эмерсон, влияющая на синтез оранжево-красного пигмента перикарпа, объясняется присутствием мобильного элемента в локусе *P*. Этот элемент, который он обозначил *Mp*, оказался генетически идентичным *Ac*. Встраиваясь в локус *P*, а затем перемещаясь из него с высокой частотой, он может, подобно *Ac*, вызывать нестабильную мутацию.

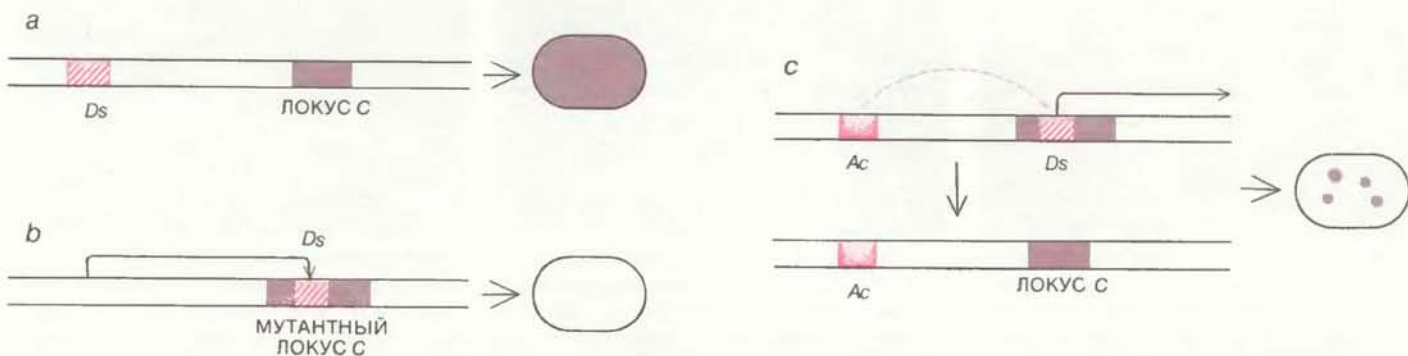
Бринк и его ученики, среди которых необходимо особо отметить И. Гринблатта из Коннектикутского университета, выполнили ряд изящных экспериментов, позволивших понять, как перемещается *Mp* (или *Ac*). Он транспозируется на той фазе клеточного цикла, когда хромосомы реплицируются и клетка готовится к делению. Транспозиция происходит в тот момент, когда сам *Mp* уже реплицировался, но часто еще до завершения репликации всей хромосомы, на которой он располагается. Из двух образовавшихся дочерних копий элемента перемещается только одна, чаще всего элемент транспозируется в близлежащий сайт на той же хромосоме. Если реципиентный сайт к этому времени еще не реплицировался, при его последующем удвоении образуются дочерние хромосомы, в одной из которых имеются две копии *Mp*-элемента, а в другой только одна, причем в новом сайте. Если элемент пе-

ремещается в сайт, который уже реплицировался, одна из дочерних хромосом оказывается лишенной *Mp*, а другая имеет две копии элемента, одна из которых локализуется в новом сайте. Вырезание элемента из локуса *P* приводит к реверсии нестабильной мутации. В результате локус функционирует нормально и синтезируется оранжево-красный пигмент.

Связь между локусом *Ac* (или *Mp*) и локусом *Ds* оставалась неясной. Из генетического анализа, проведенного Мак-Клинтон, следовало, что оба локуса мобильны, но подвижность *Ds* зависит от присутствия в геноме *Ac*. Мак-Клинтон заметила, что в некоторых случаях мутация с характерными свойствами *Ac* превращалась в мутацию с типичными признаками *Ds*. Она предположила, что локусы *Ac* и *Ds* сходны. Однако их физическую природу и степень родства удалось определить только после того, как они были выделены, а это сумели сделать лишь в прошлом году.

Транспозоны бактерий

За те годы, которые прошли со времени генетического анализа *Ac* и *Ds* до их выделения на молекулярном уровне, подвижные элементы были обнаружены и у других организмов и начали про-



МУТАЦИЯ ЛОКУСА *C* — гена, необходимого для синтеза пурпурного пигмента в алейроне зерна (a), возникает при встраивании в него *Ds*-элемента (b). Мутация инактивирует ген, пигмент не образуется, и алейрон бесцветный. Однако если в геноме есть *Ac*, то при развитии зерна в некоторых

клетках он вызывает перемещение *Ds* (c). При удалении элемента происходит реверсия мутации и возникают клетки, в которых локус *C* функционирует. Каждая такая клетка дает начало пигментированному участку в алейроне.

ясняться молекулярные механизмы их способности к транспозиции. Первые указания на существование мобильных элементов у бактерий появились в середине 60-х годов, когда было обнаружено, что некоторые особые мутации вызваны не небольшими изменениями в последовательности нуклеотидов (ДНК представляет собой цепочку из нуклеотидов четырех типов — А, Т, С и Г; в их последовательности закодирована генетическая информация), а встраиванием в ген протяженного фрагмента чужеродной ДНК. Затем оказалось, что множественная устойчивость к лекарственным препаратам передается от одних бактерий другим посредством мобильных генетических элементов. Широкое применение антибиотиков для лечения животных и человека привело к появлению бактериальных штаммов, устойчивых одновременно к нескольким антибиотикам. Микробиологи установили, что гены, придающие устойчивость, переносятся из клеток одного штамма в клетки другого в составе мелких кольцевых молекул бактериальной ДНК, которые называются плазмидами. К середине 70-х годов стало ясно, что гены устойчивости к антибиотикам путешествуют, как пассажиры, на небольших подвижных элементах — транспозонах, которые встраиваются в плазмиды и переходят вместе с ними из клетки в клетку.

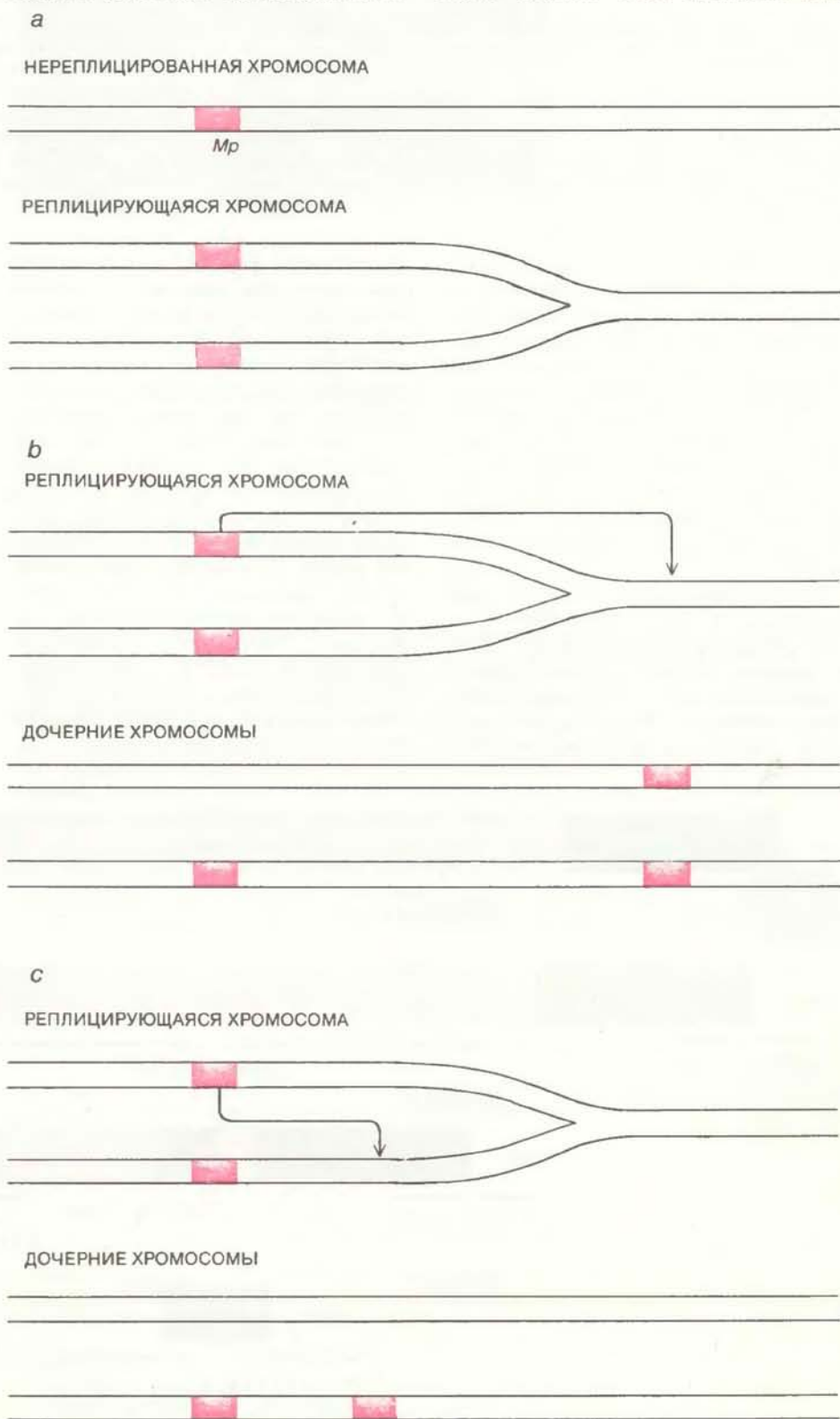
Некоторые исследователи сразу же поняли, что между транспозонами бактерий и мобильными элементами кукурузы сходства больше, чем различий [см.: Stanley N. Cohen, James A. Shapiro. Transposable Genetic Elements, "Scientific American", February, 1980], но для большинства молекулярных биологов работы генетиков по мобильным локусам кукурузы оставались туманными и мало относящимися к их проблемам. Тем не менее бактериальные элементы были детально изучены, и стали понятны некоторые механизмы их подвижности.

Пожалуй, наиболее полно исследован транспозон Tn3. Он имеет длину около 5 тыс. нуклеотидов и несет три гена. Два гена кодируют ферменты, необходимые для транспозиции. Третий ген — это пассажир, он кодирует фермент β -лактамазу, который инактивирует ампициллин и делает клетки, содержащие Tn3, устойчивыми к этому антибиотику. На концах транспозона Tn3 расположены особые некодирующие последовательности, которые называются инвертированными повторами. (В двойной спирали ДНК нуклеотиды разных нитей комплементарны: А всегда стоит против Т, а Г — против С. Последовательности на концах транспозона обладают симметрией, т.е. на обоих концах имеются идентичные последовательности, расположенные в разных нитях ДНК и направленные

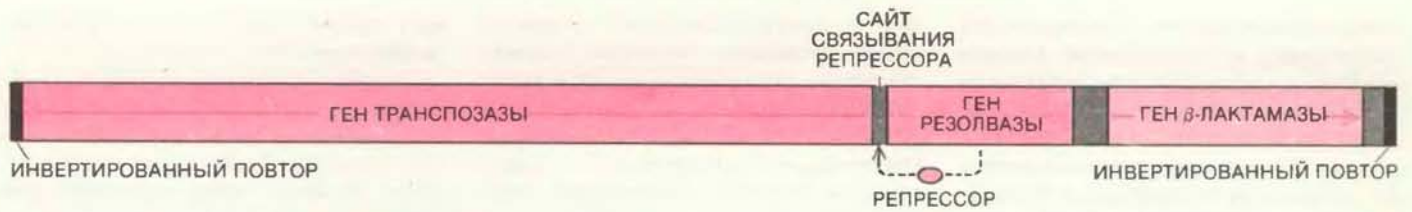
в противоположные стороны.) Инвертированные повторы служат сигналами узнавания — они отмечают границы мобильной последовательности. Имеются два фермента, которые обеспечивают транспозицию, — транспозаза и резолваза. Транспозаза начи-

нает процесс транспозиции, а резолваза завершает его.

Подобно подвижным элементам кукурузы, транспозоны бактерий при встраивании в ген могут вызывать в нем мутации. Однако мутации в жизненно важных генах летальны для



ТРАНСПОЗИЦИЯ *Mr*-элемента, генетически идентичного *Ac*, осуществляется после того, как он реплицировался, но до завершения репликации всей хромосомы, в которой он находится (а). Одна из двух дочерних копий элемента перемещается обычно в другой сайт на той же хромосоме. Если реципиентный сайт еще не реплицировался (b), одна из дочерних хромосом будет содержать две копии *Mr*, а вторая — только одну. Если же реципиентный сайт уже реплицировался (c), одна из дочерних хромосом будет лишена *Mr*-элемента, а вторая будет содержать две его копии.



ТРАНСПОЗОН БАКТЕРИЙ Tn3 имеет около 5 тыс. нуклеотидов в длину и содержит три гена. Два из них кодируют ферменты транспозиции, транспозазу и резолвазу, а третий ген кодирует β-лактамазу — фермент, инактивирующий антибиотик ампициллин. Резолваза не только фермент, но и репрессор. Она связывается с ДНК в некодирующей области (серая) между генами транспозазы и резолвазы и закрывает сайты инициации транскрипции РНК обоих генов; сайты

инициации расположены рядом, поскольку эти два гена считываются в противоположных направлениях (показано цветными стрелками). На концах транспозона имеются инвертированные повторы по 38 нуклеотидов. Такие участки ДНК симметричны: одинаковые последовательности расположены в разных цепях ДНК и в противоположных направлениях. Эти повторы играют роль опознавательных сигналов для ферментов транспозиции.

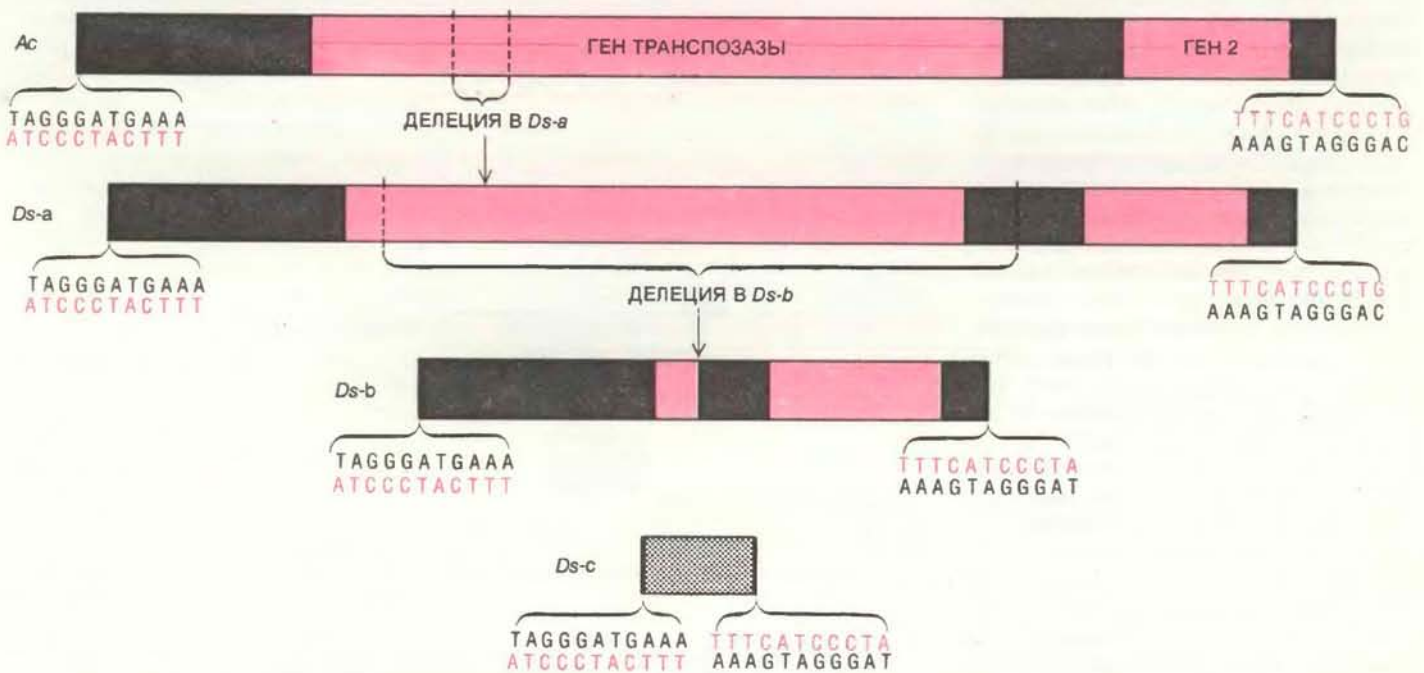
клетки. При слишком высокой частоте транспозиции вероятность таких мутаций была бы велика, что невыгодно. Поэтому в транспозоне имеется механизм, регулирующий экспрессию генов транспозазы и резолвазы. Регулятором является сама резолваза: она действует не только как фермент, но и как репрессор. Резолваза связывается с ДНК в сайте между геном транспозазы и своим собственным геном, предотвращая тем самым экспрессию обоих генов.

Не все транспозоны бактерий такие небольшие и просто устроенные, как Tn3. Некоторые представляют собой составные элементы, ограниченные с обоих концов небольшими подвижными элементами. Последовательности ДНК, напоминающие бактериальные

транспозоны, выделены из ряда высших организмов: дрожжей, плодовой мушки *Drosophila melanogaster* и нематод. Однако, поскольку в геноме имеется помногу копий таких элементов, а перемещаются они с низкой частотой, доказать, что они транспозируются, было довольно трудно. А. Спрэдлинг и Дж. Рубин из Института Карнеги в Вашингтоне показали, что если *P*-элемент *Drosophila*, в составе плазмиды инъектировать эмбрионам плодовой мушки, он способен транспозироваться в хромосому *Drosophila*, а также обеспечивать транспозицию дефектного *P*-элемента, содержащего генетический маркер. Как видно, *P*-элементы обладают свойствами бактериальных транспозонов и похожи на *Ac*- и *Ds*-элементы кукурузы.

Выделение элемента Ac

Пытаясь выделить элементы *Ac* и *Ds*, мои коллеги и я исходили из того, что и тот и другой при встраивании в самые различные гены вызывают мутации. Мы надеялись, что, если нам удастся изолировать мутантный ген с встроенным *Ac* или *Ds*, мы сможем определить, какая часть его ДНК соответствует мобильному элементу. Было решено выделить локус *waxy*, который кодирует фермент, необходимый для синтеза амилозы — одного из двух видов крахмала, содержащегося в зерне. Эндосперм зерна, в котором ген *waxy* функционирует, содержит амилозу и выглядит полупрозрачным. В мутантных зернах эндосперм более мутный,



Ac- и *Ds*-ЭЛЕМЕНТЫ КУКУРУЗЫ удалось выделить. Длина *Ac*-элемента примерно 4500 нуклеотидов, он содержит две кодирующие последовательности (цветные), три некодирующие последовательности (серые) и несовершенные концевые инвертированные повторы (черные). Первый из выделенных *Ds*-элементов, *Ds*-а почти идентичен *Ac*, разница заключается в делеции 194 нуклеотидов (показано пунктиром), которая произошла в большом гене *Ac*-элемента. Этого достаточно, чтобы инактивировать ген транспозазы, так

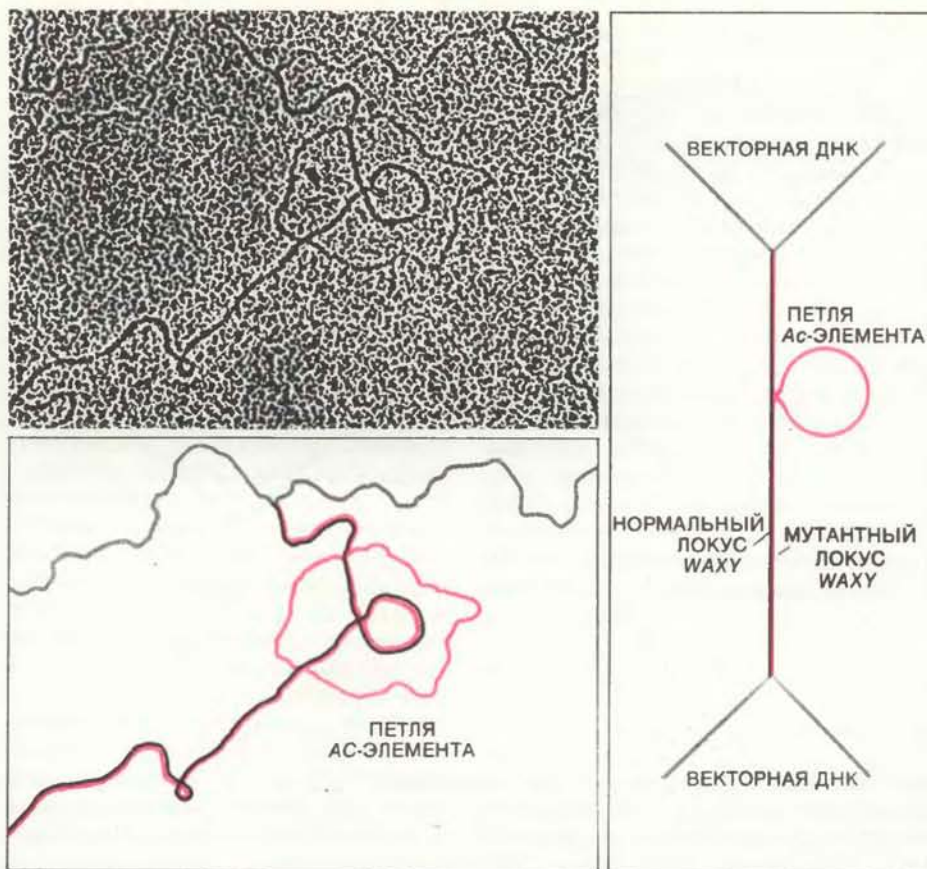
что вследствие делеции *Ds* не способен перемещаться самостоятельно. В *Ds*-b делетирован значительно больший фрагмент *Ac*. *Ds*-с совсем короткий — от *Ac* в нем остались только инвертированные повторы; это позволяет предполагать, что любой участок ДНК, ограниченный такими концевыми последовательностями, может узнаваться и перемещаться ферментами транспозиции и иметь поэтому эффект *Ds*-элемента.

так как лишен амилозы (см. рисунок на с. 6, зерна *d-f*).

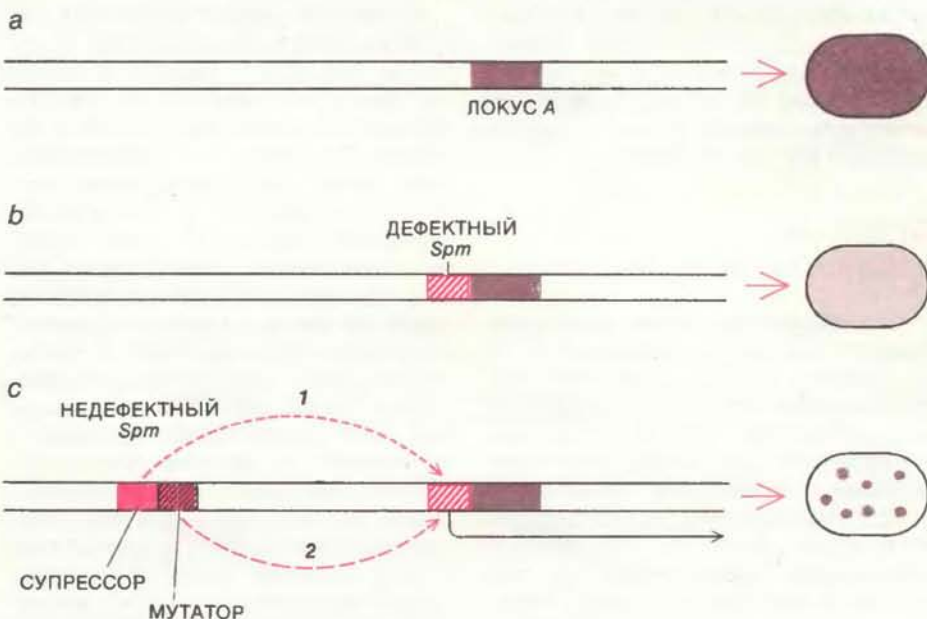
Вначале мы выделили матричную РНК из нормальных зерен. Здесь необходимы некоторые пояснения. При синтезе белков ДНК не транслируется непосредственно. Сначала одна из цепей двойной спирали ДНК — кодирующая цепь — транскрибируется с образованием комплементарной ей цепи другой нуклеиновой кислоты, РНК, которая и транслируется при синтезе белка. Мы провели обратную транскрипцию молекул РНК из зерен и получили комплементарные ДНК (кДНК). Эти кДНК клонировали в плазмиде и идентифицировали клон, содержащий кДНК, комплементарную матричной РНК, транскрибированной с локуса *waxy*. Эта кДНК являлась по существу искусственным геном *waxy*, который мог служить пробой для обнаружения исходного гена *waxy* сначала в нормальных растениях, а затем в растениях с мутациями, вызванными *Ac*- и *Ds*-элементами.

Чтобы выделить ген *waxy*, мы экстрагировали ДНК из нормальных растений, расщепили ее на короткие фрагменты и встроили их в ДНК вектора для клонирования — бактериофага λ . Если такие вирусные частицы добавить к бактериальной культуре, они заражают клетки и размножаются, давая начало большому числу клонов, каждый из которых происходит от одной фаговой частицы. В клоне могут быть миллионы фаговых частиц и соответственно миллионы копий встроенного фрагмента ДНК кукурузы. Чтобы среди этих клонов обнаружить те, в которых фаги содержат фрагмент с геном *waxy*, мы исследовали клонированные фрагменты ДНК кукурузы с помощью пробы кДНК, меченной радиоактивным изотопом. Меченая проба связывалась только с клонами ДНК кукурузы, содержащими искомый ген *waxy*, что и позволяло их отобрать.

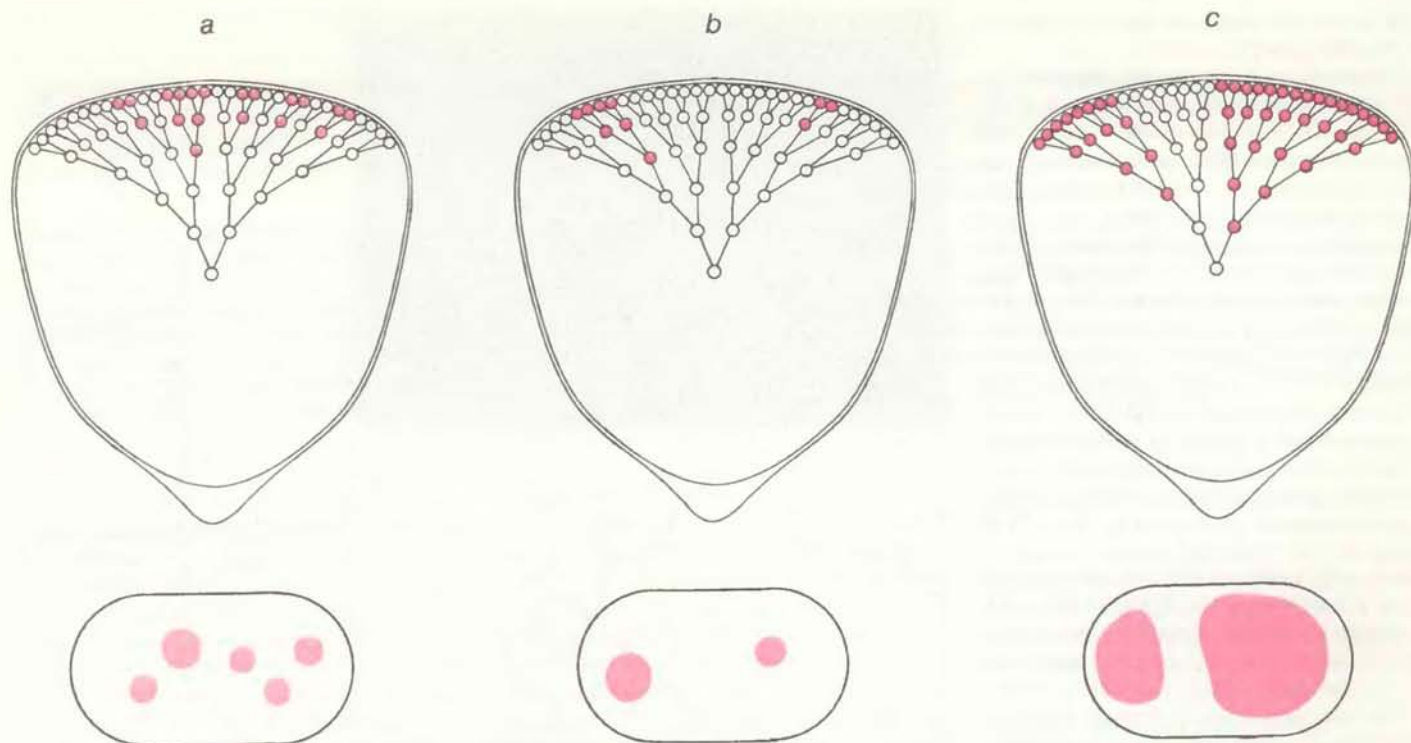
Выделив нормальный ген *waxy*, мы повторили эту процедуру с ДНК из растений с нестабильной мутацией в локусе *waxy*, вызванной *Ac*-элементом. Эндосперм у таких растений мозаичный по признаку *waxy*: в нем перемежаются полупрозрачные и мутные участки. При сравнении нормального и мутантного генов оказалось, что мутантный ген длиннее. Он содержит небольшую последовательность, которой нет в нормальном гене, — встроенный *Ac*-элемент. Нам удалось визуализировать на электронной микрофотографии тот отрезок ДНК, который соответствует *Ac*-элементу. Для этого мы взяли две векторные ДНК, в одну из которых входил фрагмент ДНК кукурузы с нормальным геном, а в другую — фрагмент с геном, содержащим *Ac*, и провели отжиг отдельных цепей. На большей части своей длины последовательности этих двух фрагментов комплементарны и поэтому они образовали



ГЕТЕРОДУПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ позволил установить локализацию *Ac*-элемента в локусе *waxy*. Отдельные цепи векторной ДНК с локусами *waxy*, нормальным и измененным мутацией при встраивании *Ac*, инкубируют совместно. Комплементарные последовательности находят друг друга и соединяются в двойную спираль ДНК (на электронной микрофотографии слева вверху она видна как толстая линия). Интерпретация микрофотографии представлена внизу, а ее схема — справа. На большей части своей длины нормальный (черный) и мутантный (цветной) локусы комплементарны и образуют двойную спираль, а для *Ac*-элемента «пары» нет, и он остается в виде одноститевой петли.



СЕМЕЙСТВО МОБИЛЬНЫХ *Spm*-ЭЛЕМЕНТОВ (от англ. *suppressor mutator*) включает дефектные *Spm*-элементы, аналогичные *Ds*, и недефектные, аналогичные *Ac*. В локус *A*, который нужен для синтеза пурпурного пигмента в алейроне зерна (а), дефектный *Spm* встраивается так, что ген частично инактивируется, в результате зерно пигментировано слабо (b). Недефектный *Spm* имеет двойной эффект (c). Во-первых, он действует как супрессор и полностью инактивирует ген (1). Должно было бы получиться бесцветное зерно, но этот элемент вызывает еще и мутацию (2), так как он кодирует транспозазу, которая в некоторых клетках перемещает дефектный *Spm* из локуса *A*, и в алейроне возникают участки ярко окрашенных клеток.



ЧАСТОТА ТРАНСПОЗИЦИИ И СТАДИЯ РАЗВИТИЯ зерна, на которой она происходит, различны при мутациях, вызываемых встраиванием различных дефектных *Spm*-элементов. Если транспозиция, приводящая к восстановлению функции гена, осуществляется на поздней стадии, клоны ревер-

тантных клеток и соответственно окрашенные пятна невелики по размеру (а). Чем меньше частота транспозиции, тем меньше число пятен (b). Если транспозиция проходит рано, пятна крупные (c).

двойную спираль ДНК. Получившийся гетеродуплекс содержал также однонитевую петлю. Она представляла собой как раз ту короткую последовательность в одной из цепей ДНК, для которой не нашлось комплементарной последовательности в другой цепи. Поскольку нормальный ген *waxy* был выделен из ревертантной линии кукурузы, которая возникла в результате транспозиции *Ac* из локуса *waxy*, не оставалось сомнений в том, что петля соответствует *Ac*-элементу.

Структура элементов *Ac* и *Ds*

Со временем нам удалось проанализировать структуру *Ac*-элемента, а в сотрудничестве с Р. Полманом и И. Мессингом из Миннесотского университета мы определили его последовательность нуклеотидов. Длина *Ac* — примерно 4500 нуклеотидов, что ненамного превышает длину самого короткого из известных элементов, способных к автономной транспозиции. Он несколько короче бактериального транспозона *Tn3* и устроен паразитически похоже на него. Прежде всего *Ac*-элемент имеет на концах инвертированные повторы, которые являются отличительным признаком перемещающихся элементов. В *Ac*-элементе повторенные последовательности не в точности одинаковы и содержат всего по 11 нуклеотидов. В большинстве транспозонов

концевые повторы длиннее (в *Tn3* — 38 нуклеотидов), однако накапливаются данные, указывающие на то, что сигналы, необходимые для транспозиции, соответствуют довольно малому числу нуклеотидов на концах элементов, не более 20.

Ac-элемент сходен с *Tn3* без его β -лактамазного гена-пассажира. *Ac* содержит два гена — длинный и короткий. Белки, которые они кодируют, по размерам близки к транспозазе и резолвазе *Tn3*. Как и в бактериальном транспозоне, гены расположены так, что транскрибируются в противоположных расходящихся из одного участка направлениях. Относительно *Tn3* известно, что благодаря такой ориентации эти два гена могут координированно регулироваться одним и тем же репрессором — резолвазой, связывающейся с *Tn3* в единственном регуляторном сайте между ними. Поскольку в *Ac*-элементе его два гена транскрибируются совершенно так же, предполагается, что они тоже могут контролироваться одним регуляторным сайтом.

Есть основания считать, что больший из генов *Ac* кодирует белок, аналогичный транспозазе *Tn3*. Свидетельствующие об этом данные получены при исследовании *Ds*-элемента. Как я упомянула выше, из генетического анализа вытекало, что *Ds*- и *Ac*-элементы очень близки. Об их сходстве говорит то, что, во-первых, *Ds*-элементы становятся подвижными в присутствии *Ac*-элементов и, во-вторых, мутации,

вызванные встраиванием *Ac*, могут спонтанно приобретать свойства мутаций, вызываемых *Ds*, как если бы *Ac*-элемент заменился на *Ds*. Мы выделили *Ds*-элемент из растения кукурузы, в котором *Ac*-мутация в гене *waxy* превратилась в *Ds*-мутацию. Вставка *Ds* располагалась точно в том же месте, в котором в исходной линии находился *Ac*. Оказалось, что вставка почти идентична *Ac*-элементу. Она выглядела как мутантный *Ac*-элемент: небольшая часть последовательности *Ac* отсутствовала. Эта отсутствовавшая (делетированная) последовательность невелика — всего 194 нуклеотида в длину. Делетия произошла внутри гена, кодирующего больший из белков *Ac*. Поскольку *Ds*-элемент способен перемещаться только в присутствии *Ac*, мы сделали вывод, что белок, последовательность которого в *Ds*-элементе нарушена делетией, — это фермент, необходимый для транспозиции, — транспозаза.

Еще не ясно, являются ли все *Ds*-элементы попросту дефектными *Ac*-элементами. Судя по тем *Ds*-элементам, которые уже выделены, они могут сильно отличаться от *Ac* по структуре. Второй выделенный нами *Ds*-элемент приблизительно в два раза короче *Ac* и представляет собой две концевые последовательности *Ac*, соединенные без промежутка. Родственный ему элемент обнаружен сотрудниками лаборатории П. Старлинджера в Кельнском университете. Он состоит

из двух копий элемента, похожего на наш короткий *Ds*, причем одна из копий встроена в обратную ориентации в середину другой. Совсем иной элемент выделили в лаборатории В. Пикока в Объединенной научно-технической организации в Канберре. Он приблизительно в десять раз короче *Ac*-элемента и напоминает его лишь по существу такими же, как в *Ac*, инвертированными повторами. Этот последний факт наводит на мысль, что любая последовательность, ограниченная такими концевыми последовательностями, способна вести себя, как *Ds*-элемент. Возможно, вся информация, необходимая, чтобы ферменты транспозиции могли узнать, вырезать и перенести последовательность в другое место, заключена в инвертированных повторах. Если это так, то в присутствии *Ac*-элемента, который кодирует ферменты транспозиции, любой отрезок ДНК с концевыми последовательностями, узнаваемыми этими ферментами, потенциально способен к перемещению.

Семейства элементов

Вначале считалось, что в геноме содержится один *Ac*-элемент. Впоследствии на основании результатов генетического анализа стали полагать, что в геноме одновременно может находиться несколько активных *Ac*, но число их невелико. Однако в генетических опытах выявляются лишь активные элементы, имеющие какой-либо наблюдаемый эффект в организме. Молекулярные же пробы с последовательностью *Ac*-элемента, которые можно получить, располагая выделенным *Ac*, позволяют обнаружить любые последовательности, родственные *Ac*, независимо от их биологической активности. Оказывается, геном буквально усыпан подобными последовательностями. Многие из них похожи на концы *Ac*-элемента. Хотя оценки не очень точны, в геномах всех исследованных нами растений имеется, по-видимому, не менее 40 (и не исключено, что более 100) подобных концов *Ac*-элемента.

И все же в целом результаты исследований на молекулярном уровне согласуются с данными генетического анализа. Если задаться вопросом, сколько элементов по своей структуре идентичны *Ac*, то окажется, что совсем немного. Действительно, *Ac*-элемент, обнаруживаемый генетическими методами, уникален. И хотя по всему геному раскиданы фрагменты *Ac*, целых *Ac*-элементов мало. Очень многие из этих фрагментов (правда, неясно, сколько именно) способны к транспозиции в присутствии полных *Ac*-элементов. Другими словами, *Ac*- и *Ds*-элементы составляют семейство родственных элементов.

Ds-элементы можно рассматривать

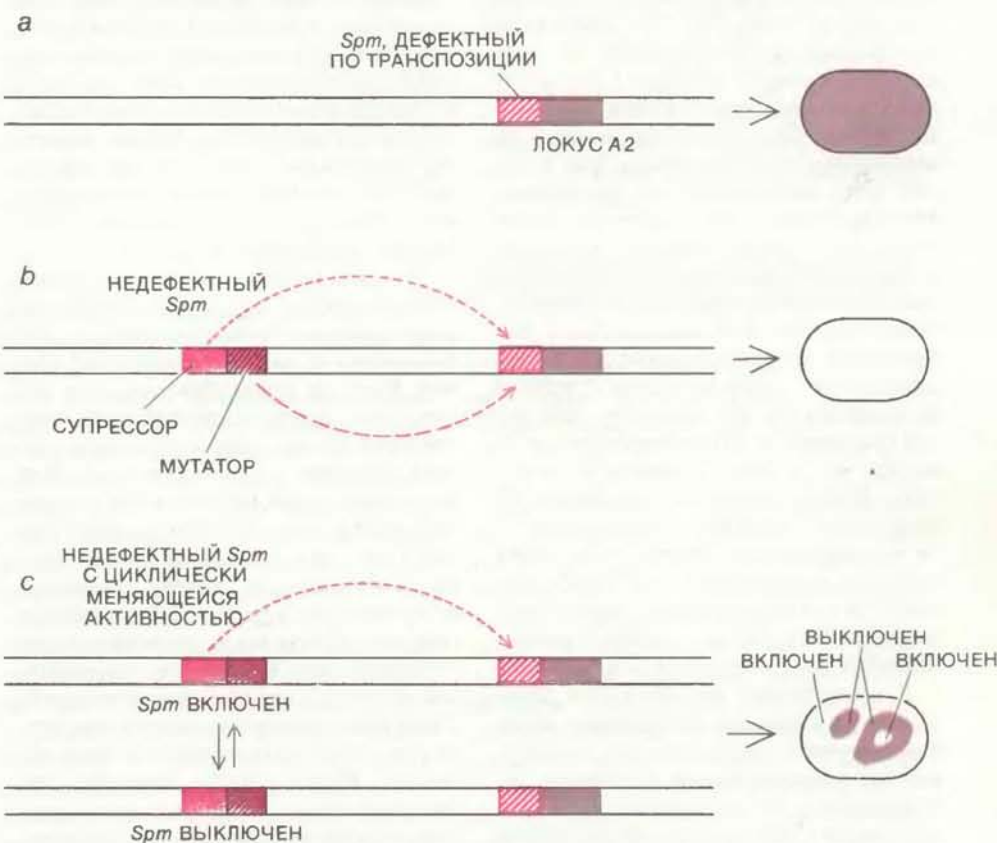
как последовательности, более или менее родственные *Ac* и непременно содержащие необходимые концевые последовательности, которые узнаются и перемещаются ферментами транспозиции *Ac*-элемента. Сами же *Ac*-элементы вряд ли сильно различаются по структуре, поскольку должна сохраняться способность кодировать и синтезировать ферменты транспозиции. В настоящее время выделены три *Ac*-элемента, и они оказались почти идентичными. Однако будет не удивительно, если обнаружится *Ac*-элемент, который подхватил ген-пассажир, подобно тому как это, по-видимому, случилось в какой-то момент эволюции с транспозоном *Tn3*.

Вероятно, у кукурузы имеется много семейств мобильных элементов, подобных семейству *Ac*—*Ds*. Для подвижных элементов характерно, что кодируемые ими ферменты транспозиции узнают только их собственные сигналы. Эта специфичность дает возможность разделять элементы на семейства на основании генетических опытов. Например, новый элемент можно ввести в растение с мутацией, вызванной *Ds*-элементом. Если проис-

ходит реверсия мутации, то введенный элемент подобен или идентичен *Ac*; если мутация остается стабильной, элемент относится к другому семейству. С помощью такого критерия у кукурузы обнаружено по меньшей мере шесть семейств элементов, но они, вероятно, представляют лишь незначительную долю всех семейств имеющихся у этого растения подвижных элементов. Индейцам Центральной и Южной Америки, которые первыми стали выращивать кукурузу, нравилась мозаичная окраска, возникающая вследствие мутаций, вызванных подвижными элементами, поэтому существует множество мозаичных рас кукурузы. Лишь некоторые из них охарактеризованы генетически, поэтому неизвестно, были ли мутации вызваны уже идентифицированными мобильными элементами или совершенно иными.

Spm-элементы

Единственное другое семейство элементов, изученное столь же основательно, как *Ac*- и *Ds*-элементы, — это семейство *Spm*-элементов. Оно было обнаружено независимо П. Петерсо-



Spm-ЭЛЕМЕНТ С ЦИКЛИЧЕСКИ МЕНЯЮЩЕЙСЯ АКТИВНОСТЬЮ попеременно то «включен», то «выключен». Его эффект особенно нагляден, когда в локусе, контролирующем синтез пигмента, находится дефектный *Spm*, не способный к перемещению. В отсутствие полностью функционально активного *Spm* дефектный *Spm* почти не влияет на окраску (a). Обычный недефектный *Spm* супрессирует ген, а мутаторного эффекта нет, поскольку дефектный по транспозиции элемент не способен перемещаться; зерно при этом совершенно бесцветное. Если недефектный *Spm* обладает циклически меняющейся активностью (c), его супрессорная функция то включается, то выключается, и появляются окрашенные пятна (*Spm* включен), внутри которых имеются мелкие бесцветные (*Spm* выключен).

ном (Университет шт. Айова) и Мак-Клинтон в 50-х годах. Мак-Клинтон назвала полностью функционально активный элемент *Suppressor-mutator*, что значит супрессорный мутаторный или, сокращенно, *Spm*-элемент; Петерсон назвал его *Enhancer* — усилительный. Он еще не выделен, однако мутации, им вызываемые, были детально проанализированы генетически. Эти мутации — яркая иллюстрация сложного действия подвижных элементов в организме «высшего растения, они предоставляют молекулярным биологам богатейший источник данных, анализ которых рано или поздно прольет свет на механизмы, определяющие экспрессию генов на разных этапах развития и в различных тканях.

В главном *Spm*-элементы по своему действию подобны *Ac* и *Ds*. Автономный *Spm*-элемент, так же как *Ac*, способен вызывать нестабильную мутацию, встраиваясь внутрь гена или вблизи него. При встраивании элемента ген инактивируется, а при последующем его вырезании в некоторых клетках растущего зерна функция гена восстанавливается, в результате зерно выглядит мозаичным. В семейство *Spm* входят также неавтономные элементы, аналогичные *Ds*. Эти дефектные *Spm*-элементы (Мак-Клинтон не дала им специального названия) способны перемещаться только в присутствии недефектного *Spm*. Несмотря на такое существенное сходство между *Spm* и *Ac*, они явно различаются по описанному выше критерию: *Spm*-элемент не может обеспечить транспозицию *Ds*-элемента, а дефектный *Spm* не может перемещаться в присутствии *Ac*. Между семействами *Spm* и *Ac* имеется также любопытное функциональное различие. Дефектные *Spm*-элементы иногда встраиваются в ген таким образом, что ген оказывается инактивированным не полностью, а лишь частично. И до тех пор, пока в геноме нет недефектного *Spm*, ген продолжает экспрессироваться на пониженном уровне; если такая мутация произошла в гене, необходимым для синтеза пигмента, зерно получается не бесцветное, а слабопигментированное (см. рисунок на с. 6, зерно *g*).

В присутствии недефектного *Spm*-элемента ситуация совершенно иная. Ген пигмента супрессируется, т.е. полностью инактивируется, и зерно растет бесцветным. Однако недефектный *Spm* производит транспозазу. В результате в ходе развития зерна в некоторых клетках дефектный элемент вырезается, что приводит к появлению ярких пигментированных пятен, состоящих из ревертантных клеток, в которых ген функционирует нормально (см. зерна *h—j* на том же рисунке). Мак-Клинтон потому и назвала элемент супрессорным мутаторным, что он оказывает на ген, содержащий дефектный элемент,

два четко различимых воздействия: во-первых, супрессирует его и, во-вторых, вызывает обратные мутации, или реверсии.

Мутации *Spm*-элемента

Мак-Клинтон исследовала два класса наследуемых изменений в самих *Spm*-элементах: мутации, влияющие на транспозицию дефектных элементов, и мутации, затрагивающие функции недефектного *Spm*. Все мутации первого класса приводят к появлению пигментных пятен, однако по характеру возникающей в зерне мозаичности эти мутации различны. Каждое пятно представляет собой клон клеток, произошедших от одной клетки, в которой дефектный *Spm* транспозировался из гена. Если транспозиция происходит на поздней стадии развития зерна, когда до его созревания остается всего несколько клеточных делений, клоны ревертантных клеток (т.е. пятен) оказываются мелкими. Число пятен на зерне — их может быть много или всего несколько — зависит от частоты транспозиции дефектного *Spm*; для каждой мутации характерна своя частота. Если акты транспозиции, восстанавливающие функцию гена, осуществляются на ранних стадиях развития зерна, то клоны ревертантных клеток бывают крупными. И так, мутации в одном и том же локусе, причиной которых на генетическом уровне является, казалось бы, один и тот же дефектный *Spm*-элемент, могут различаться как по частоте, так и по времени, когда элемент вырезается из локуса.

Что же придает таким мутациям столь глубокие различия? Каким образом элемент «узнает», когда и с какой частотой ему перемещаться? Может быть, в последовательности нуклеотидов каждого элемента есть генетический сигнал, своего рода часы, считающие стадии развития? Или же элемент становится как бы пленником программы развития, свойственной тому гену, в который он встроился? Возможно ли, чтобы элементы, встроившиеся в разных сайтах внутри гена или вблизи него, становились доступными для ферментов транспозиции на разных стадиях развития зерна? Ответов на эти вопросы пока еще нет, но они стоят того, чтобы над ними работать. Когда удастся выделить мутантные гены и положение дефектных *Spm*-элементов в них будет определено, станет возможным изучение генетических сигналов, определяющих «расписание» развития.

Некоторые мутации, затрагивающие функции самого недефектного *Spm*-элемента, очень напоминают только что рассмотренные мутации дефектных элементов. Они влияют на частоту и время транспозиции, в некоторых случаях делают элемент не способ-

ным обеспечивать ни свою собственную транспозицию, ни транспозицию дефектного *Spm*, но в то же время не изменяют его супрессорную функцию. Наиболее интересны, пожалуй, мутации, влияющие на экспрессию недефектного *Spm*-элемента в целом. Известна мутация, из-за которой *Spm* в ходе развития зерна попеременно то включается, то выключается, т.е. активное и неактивное состояния элемента чередуются.

Поведение такого элемента лучше всего наблюдать по его влиянию на мутацию, вызываемую особым дефектным *Spm*, который не способен к перемещению даже в присутствии недефектного *Spm*-элемента, однако вполне реагирует на супрессию *Spm*. В отсутствие недефектного *Spm* зерна с этой мутацией имеют нормальную окраску. В присутствии недефектного *Spm* зерна получают вследствие супрессии совершенно бесцветными. Пятен на них нет, поскольку дефектный элемент «застрял» и не может быть вырезан, а стало быть, и нормальная функция гена не восстанавливается.

При замене обычного недефектного *Spm* на элемент, состояния которого чередуются, зерна приобретают совершенно иной рисунок. На бесцветном алейроне наблюдаются довольно крупные окрашенные участки, но на них, в свою очередь, есть мелкие бесцветные пятна (см. рисунок на с. 6, зерно *k*).

Такая мозаичность возникает не в результате транспозиции дефектного *Spm*, поскольку он не способен перемещаться. Она возникает при циклическом изменении состояния недефектного *Spm*. Когда элемент «включен», проявляется его супрессорная функция, и соответствующий участок алейрона становится бесцветным. Когда элемент «выключен», вещество-супрессор не синтезируется, ген функционирует нормально и образуются окрашенные участки. Однако *Spm* «дремлет» недолго, через несколько клеточных делений он может снова активироваться, и тогда на фоне окрашенных пятен появятся мелкие бесцветные.

Другие недефектные *Spm*-элементы не совершают подобных циклов во всем растительном организме, а включаются лишь в определенное время или в определенном месте и остаются неактивными во всех других случаях. Например, элемент может экспрессироваться только в верхней части зерна или, наоборот, только у его основания. Или же он функционирует в початках, растущих на основном стебле, а в початках боковых побегов выключен.

Развитие и эволюция

Повсеместное распространение мобильных элементов и все более укрепляющееся представление о них как о

SCIENTIFIC
AMERICAN

главном факторе генетической нестабильности заставляют задуматься об их роли в генетических событиях, лежащих в основе индивидуального развития, а также в долговременных генетических изменениях, т.е. в эволюции. Мак-Клинтон назвала изученные ею подвижные генетические элементы кукурузы «контролирующими элементами», так как понимала, что в некотором смысле они обратимо подавляют экспрессию генов, а генетически детерминированный характер их вырезания в соматических (незародышевых) клетках обеспечивает специфическую картину экспрессии генов в организме как целом. Свойства самих элементов и особенности их взаимодействия с генами обуславливают различные спектры экспрессии генов. Это позволило Мак-Клинтон предположить, что контролируемые элементы — это «детали» вышедших из строя нормальных регуляторных механизмов.

Идея о том, что подвижные генетические элементы играют роль устройств, регулирующих экспрессию генов в развитии организма, не получила прямого экспериментального подтверждения. Но уже сейчас ясно, что разнообразные гены, в частности гены синтеза антител у высших животных, действительно перестраиваются, следуя нормальной программе развития.

В эволюции перемещающиеся генетические элементы могут играть еще большую роль. О ней можно лишь строить предположения, однако свойства мобильных элементов создают предпосылки не только для модификации экспрессии генов, но и для изменения структуры генов и даже геномов. Для кукурузы и некоторых других организмов известно, что подвижные генетические элементы активируются при стрессовых воздействиях на геном, когда в хромосомах возникают разрывы. Как это происходит, остается тайной, но, активировавшись, элементы могут вызывать разнообразные мутации и хромосомные перестройки. Создается впечатление, что подвижные элементы способны усиливать незначительные повреждения, приводя к генетическим «землетрясениям». Вероятно, такое генетическое буйство — важный источник изменчивости, т.е. того сырья, из которого под действием естественного отбора сохраняется все полезное для вида. Более того, накапливаются данные о том, что подвижные элементы не только выключают, но и включают гены, а также усиливают их экспрессию. Есть основания предполагать, что они могут влиять на программу действия генов и более мягкими способами, изменяясь в той части организма и в то время, где и когда ген активен. Будем надеяться, что намечается подход к моделированию эволюции организмов.

ИЮНЬ 1934 г. Тридцать лет назад, в 1903 г., мировое производство неорганического азота составляло 349 000 т, причем 63% этого продукта производилось в Чили. К 1933 г. мировое производство неорганического азота возросло почти в 5 раз и достигло 1 700 000 т, причем доля чилийских поставок составляла уже менее 10%. Это связано с тем, что еще до 1913 г. в Германии стали применять фиксацию азота путем синтеза аммиака по методу Габера—Боша. Основные последствия этого технологического достижения следующие: во-первых, произошел крах чилийской монополии на азот и упадок чилийской экономики; во-вторых, стал доступен дешевый азот для нужд сельского хозяйства; в-третьих, практически все военные державы стали независимы от чужих источников азота, необходимого для военной промышленности, и, в-четвертых, широкое распространение получили новые каталитические методы с применением высокого давления в синтезе метанола и при гидрогенизации различных веществ, например угля и нефти в процессе получения синтетического топлива для двигателей внутреннего сгорания.

Появление радиоприемников улучшенной конструкции открыло перед радиослушателями новые перспективы. Приемники, способные «ловить» на коротких волнах удаленные станции, стали называть всеволновыми радиовещательными приемниками. Разработка таких аппаратов представляет собой довольно сложную техническую задачу. Для того чтобы охватить широкий диапазон длин волн, в приемнике должен быть ряд независимых колебательных контуров — лишь тогда удастся избежать расстройки и других нежелательных явлений, присущих конструкциям, в которых широкий диапазон частот перекрывается одним колебательным контуром. Во всеволновом приемнике с помощью селекторного переключателя можно последовательно подключать разные катушки индуктивности и конденсаторы и таким образом менять диапазоны волн. Точная настройка в каждом диапазоне достигается вращением верньерного устройства. На передней панели приемника нанесено несколько шкал, соответствующих разным волновым диапазонам. Сочетание в одном аппарате механического узла настройки и электрических контуров облегчает обра-

щение с приемником и делает удобным переключение диапазонов.

Уолтер С. Адамс и Теодор Дж. Данхэм-младший обнаружили, что в спектре излучения планеты Венеры линии кислорода или водяных паров отсутствуют. Однако в красной и инфракрасной областях наблюдаются три полосы, свидетельствующие о присутствии двуокиси углерода. Атмосфера такого состава должна создавать мощный «парниковый эффект», легко пропуская коротковолновое солнечное излучение, но задерживая излучение длинных волн, исходящее от нагретой поверхности планеты. Руперт Уайлдт, один из ведущих специалистов, работающих в этой области, сделал вывод, что температура на поверхности Венеры может достигать точки кипения воды. Вряд ли такие условия допускают существование жизни, а в ее отсутствие двуокись углерода должна оставаться в атмосфере планеты. В атмосфере Марса не заметно следов ни кислорода, ни воды, ни двуокиси углерода. По-видимому, Марс находится на более поздней ступени планетной эволюции по сравнению с Землей, в то время как Венера скорее всего должна напоминать Землю той эпохи, когда на ней еще не появилась жизнь. Мы сами оказываемся «меж двух миров: одним, уже мертвым, и другим, еще не набравшим сил для рождения».



ИЮНЬ 1884 г. Как следует из последних статистических данных, в штате Пенсильвания сейчас действуют 20 000 нефтяных скважин, дающих 60 000 баррелей нефти в сутки. Для транспортировки и хранения добытой нефти и резервных запасов нефтяной промышленности штата требуется 5000 миль нефтепроводов и 1600 металлических цистерн средней емкостью по 25 000 баррелей. Ежегодный оборот в нефтяной торговле составляет сейчас свыше 400 млн. долл. Самая низкая цена, по которой когда-либо предлагалась неочищенная нефть, составляла 10 центов за баррель. Это было в 1861 г., хотя двумя годами раньше, в 1859 г., когда действовала всего одна-единственная нефтяная скважина «Пионер» полковника Эдвина Л. Дрейка в Титусвилле, цена на нефть достигла 24 долл. за баррель. Помимо 5000 миль трубопроводов, проложенных в нефтеносных районах, нефтедобытчики пользуются магистральными нефтепроводами протяженностью 1200 миль, связывающими промыслы с Кливлендом, Питтсбур-

гом, Буффало и Нью-Йорком. Такие же магистрали тянутся сейчас к Филадельфии и Балтимору. Все эти нефтепроводы, исключая линию между Брэдфордом и Уильямспортом в Пенсильвании, принадлежат компании Standard Oil. В этой компании работает 100 000 человек. Для последующей транспортировки всей продукции, производимой нефтеперерабатывающими заводами, компания ежедневно вынуждена изготавливать 25 000 дубовых бочек по 40 галлонов и 100 000 жестяных емкостей по 5 галлонов.

Одно из самых поразительных научных исследований провели недавно под руководством М. Милн-Эдвардса ученые, избранные Французской академией наук и правительством для участия в рейсе «Травайёра» и «Талисмана». В отчете экспедиции более всего привлекает внимание «вертикальный разрез» океанической фауны. Как оказалось, в ней четко различимы две области. Вблизи поверхности обитают известные нам современные виды, но на глубине 2500—3000 м они встречаются уже редко, а еще ближе ко дну совсем исчезают. Там, в абиссальной зоне живут странные создания, никогда не поднимающиеся из тьмы глубин. Таким образом, в океане фактически существуют не смешиваясь, одна над другой, две совершенно различные фауны.

Господин Дэвид Джилл, член Королевского общества, астроном Ее Величества, работающий на Мысе Доброй Надежды, и молодой американский астроном Уильям Л. Элкин последние годы занимались измерением расстояний до некоторых неподвижных звезд Южного полушария, используя специальный телескоп с объективом. Полученные данные были выражены в числе лет, необходимых свету, чтобы пройти от этих звезд до нашей Земли. Так, расстояние до альфа Центавра 4,36 светового года, до Сириуса 8,6 светового года, до звезды Лакалла 9352 11,6 светового года, а до эпсилон Индейца 15,0 световых лет. По имеющимся на сегодня данным, альфа Центавра является ближайшей из неподвижных звезд, так что видимые невооруженным глазом различия в относительной яркости звезд не могут служить основанием для оценки расстояния до этих звезд. Г-н Джилл полагает, что будущее астрономии в большой степени зависит от развития фотографии. Особенно ярко это подтверждается последней удачной попыткой сфотографировать туманность Ориона.

Численность студентов, обучающихся в наиболее известных высших учебных заведениях в текущем году, составила: Мичиганский университет — 1554 студента, он стоит на первом месте; Гар-

вардский университет — 1522 студента, немного отстает от Мичиганского; Колумбийский университет — 1520 студентов. В Пенсильванском университете обучаются 1044 студента, в Массачусетском технологическом институте — 561, в Принстонском университете — 527. Что же касается численности профессоры, порядок следования будет другим. Относительно Мичиганского университета соответствующих данных не имеется. В Гарвардском университете 32 профессора при общем числе преподавателей 55 человек. За ним следует Принстонский университет с 28 профессорами в общем числе 34 преподавателей, включая младших преподавателей. В Йельском университете 20 профессоров в числе 30 преподавателей, и наконец, Колумбийский университет имеет в своем штате всего 12 профессоров при общем числе 29 преподавателей.

Недавно внимание всего научного мира

и широкой общественности привлекло выступление г-на Л. Пастера во Французской академии наук. В своем замечательном докладе он сообщил о результатах исследования бешенства. Лаборатория в Эколь Нормаль, известная сделанными в ней выдающимися научными достижениями, ныне приобрела весьма необычный вид. С разрешения парижского муниципалитета г-н Пастер устроил там множество специальных помещений для изучаемых животных: конуры для бешеных собак, курятники для зараженных холерой кур, выгульные дворики для больных корью свиней, стойла и загоны для скота, пораженного сибирской язвой. В одной из последних лекций, в ходе которой он продемонстрировал, как птица умирает без кислорода, Пастер сказал: «Я никогда не мог решиться убивать птиц из

Издательство МИР предлагает:

Х. Гюнтер ВВЕДЕНИЕ В КУРС СПЕКТРОСКОПИИ ЯМР

Перевод с английского

Автор книги профессор Х. Гюнтер известен своими работами по органической химии и спектроскопии ЯМР. Разносторонние знания в сочетании с талантом и опытом педагога позволили ему создать одно из лучших пособий по спектроскопии ядерного магнитного резонанса среднего уровня, ориентированное главным образом на химиков, которые применяют этот метод для решения структурных и динамических задач. Большую справочную ценность книге придадут отлично составленные таблицы типичных значений химических сдвигов и констант спин-спинового взаимодействия ядер в основных структурных фрагментах.

Для студентов и преподавателей химических вузов, а также для научных работников, применяющих метод ЯМР в повседневной практике.

1984, 30 л. Цена 4 р. 80 к.

Т. Маниатис, Э. Фрич, Дж. Сэмбрук МЕТОДЫ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ИНЖЕНЕРИИ. Молекулярное клонирование

Перевод с английского

Содержание: Системы вектор — хозяин. Выделение плазмидной ДНК и ДНК бактериофага λ . Получение и культивирование штаммов бактерий и вирусов. Ферменты, используемые для молекулярного клонирования. Электрофорез в геле. Выделение, очистка и анализ мРНК из клеток эукариот. Синтез и клонирование кДНК. Введение плазмидной ДНК и ДНК бактериофага λ в *E. coli*. Идентификация рекомбинантных клонов. Анализ рекомбинантных клонов ДНК. Векторы, осуществляющие экспрессию клонированной ДНК в *E. coli*.

Книга предназначена для молекулярных биологов, биохимиков, генетиков, микробиологов, вирусологов.

1984, 32 л. Цена 4 р. 80 к.



Слух по памяти

АБСОЛЮТНЫЙ слух — способность человека определять высоту тона без сравнения с другим тоном — любопытный феномен с точки зрения неврологии. Самонаблюдение и основанный на нем анализ, вообще говоря, плохие помощники в изучении работы мозга, однако в данном случае трудно удержаться от предположения, что мозг человека, обладающего абсолютным слухом (в отличие от мозга других людей), хранит в долговременной памяти мысленное представление об основных тонах звукоряда. Человек, не обладающий этим представлением, может иметь лишь относительный слух: чтобы определить интервал между тонами, он должен сравнивать их между собой.

В пользу этого предположения свидетельствует достаточное количество фактов. Возьмем случай, когда требуется определить интервал между тонами звуков, следующих через небольшие промежутки времени. Выяснилось, что люди с абсолютным слухом выполняют это задание лучше, чем люди с относительным слухом. Это понятно, поскольку у последних информация об услышанном звуке фиксируется только в кратковременной, или оперативной, памяти, которая хранит содержимое в лучшем случае несколько секунд.

Недавно получены новые данные, которые расширяют наши представления о рассматриваемом феномене. Подтверждая предположение о природе абсолютного слуха, они также дают возможность проверить одну гипотезу, касающуюся электрической активности мозга. Речь идет о данных, полученных М. Клейном, М. Коулзом и Э. Дончино из Иллинойского университета в Эрбане — Шампэине, которые исследовали 14 студентов-музыкантов этого университета. Результаты исследований опубликованы в журнале «Science». Семь из четырнадцати студентов заявили, что обладают абсолютным слухом, и на самом деле показали лучшие результаты в определении высоты тонов. Если они и ошибались, то лишь в том, что, правильно называя ноту, «помещали ее октавой выше или октавой ниже истинного звучания».

Каждый испытуемый подвергался следующей проверке. В одном случае ему предъявлялись визуальные символы (буква Н или буква S), в другом — он слышал звуковые сигналы (один с частотой 1000 Гц, второй с частотой 1100 Гц). В каждой серии символы (или сигналы) следовали в случайном порядке, причем один из пары в четыре раза реже другого. Испытуемый должен был вести счет более редких сим-

волов. При этом с помощью электродов, укрепленных на голове, регистрировалась электрическая активность мозга. Результаты испытаний усреднялись, чтобы уменьшить случайную ошибку. Таким образом было обнаружено существование характерного волнообразного сигнала, названного потенциалом «событие—отклик». Его, в частности, характеризует положительный пик, возникающий примерно через 300 мс после предъявления символа и принимающий максимальное значение в теменной доли мозга. Этот пик известен как P300. Как предполагается, его наличие означает (в терминах когнитивной психологии), что в данный момент мозг занят просмотром оперативной памяти.

Все 14 испытуемых «вели счет редких символов в равной степени точно», однако характер записи электрической активности у них был разным. У семерых студентов, которые отрицали наличие у себя абсолютного слуха, потенциалы «событие—отклик» имели стандартный вид как в зрительных, так и в слуховых тестах. Эти потенциалы содержали сигнал P300. Очевидно, что мозг сохранял информацию о предъявленном символе в течение короткого промежутка времени, необходимого для сравнения с последующим символом.

У семерых студентов, утверждавших, что они обладают абсолютным слухом, стандартный потенциал «событие—отклик» отмечался только в зрительных тестах. В слуховых тестах сигнал P300 был значительно слабее. Меньше всего P300 проявлялся у тех испытуемых, которые показали наилучшие результаты при проверке «абсолютности» их слуха. Таким образом, можно говорить о подтверждении двух предположений: что люди с абсолютным слухом не используют оперативную память для определения высоты тона и что обращение мозга к оперативной памяти сопровождается появлением сигнала P300.

Сокращение книжного рынка. В чем причина?

КАЗАЛОСЬ бы, что с ростом численности населения и постоянным повышением уровня образования количество ежегодно издаваемых книг должно увеличиваться. Однако если ознакомиться с годовыми отчетами Библиотеки конгресса в Вашингтоне, то можно обнаружить, что за последние годы число издаваемых книг по некоторым областям резко сократилось. Этот спад наметился примерно 12—13 лет назад. Речь идет о таких областях, как наука, техника, история, лингвистика и

литературоведение. В таких же областях, как искусство, юриспруденция, религия и философия, число издаваемых книг остается постоянным.

В соответствии с действующими правилами комплектования фонда экземпляров каждого названия книги, изданной американским издательством, поступает в Библиотеку конгресса. Что же касается иностранных книг, то библиотека закупает те из них, ценность которых предположительно будет сохраняться в течение длительного времени. Сокращение количества новых поступлений отнюдь не означает, что библиотека стеснена в своих финансовых средствах.

Какова же истинная причина сокращения темпов пополнения библиотечного фонда? Ответ на этот вопрос дает Ч. Гудрам, бывший сотрудник исследовательского бюро Библиотеки конгресса, а ныне консультант при той же библиотеке. По его словам, электроника сейчас настолько широко вошла в жизнь, что с каждым днем растет число людей, работающих в различных областях науки и техники, которые для записи и хранения научно-технической информации используют ЭВМ, а о результатах своей работы публикуют только краткие сообщения в журналах.

Немалую роль, по мнению Гудрама, играет и снижение числа лиц, стремящихся получить докторскую степень в различных областях науки и техники. Этот факт в свою очередь объясняется неблагоприятной перспективой в отношении устройства на работу в колледж или университет. Судя по тому, что штаты в научных организациях постоянно сокращаются, это положение, по видимому, сохранится и в ближайшие годы. Диссертация же на докторскую степень часто является основой будущей книги. Гудрам также считает, что наблюдаемый сейчас экономический спад вынуждает издателей сокращать объемы книжной продукции. Что же касается тех областей, где сокращение количества книг не наблюдается, то, как считает Гудрам, причина может заключаться в том, что они менее подвержены влиянию со стороны экономических и научно-технических перемен.

Цифры, отражающие объемы новых поступлений в фонд Библиотеки конгресса за период с 1962 по 1982 г., говорят сами за себя. В 1962 г. в библиотеку поступила 5091 новая книга по научной тематике. В последующие годы количество вновь поступающих научных книг постоянно росло и в 1972 г. достигло максимума — 16 923 книги. Затем начался спад, и в 1982 г. новых поступлений было уже 7900.

Покрытие металлов золотом и серебром в доколумбовой Америке

Мастерам андских культур были известны способы золочения и серебрения меди, а также обработки сплавов меди, золота и серебра для изготовления из них изделий с золотым или серебряным покрытием

ХЕТЕР ЛЕЧТМЕН

КОГДА испанские конкистадоры расплавили золотые и серебряные изделия, награбленные ими у инков, то с удивлением обнаружили, что полученные слитки содержали совсем мало благородных металлов. Действительно, эти изделия походили на золотые или серебряные, на самом же деле они были изготовлены из сплавов благородных металлов с медью. Еще за тысячелетие до расцвета государства инков андские мастера научились получать эти сплавы и изготавливать из них изделия с золотым или серебряным покрытием. Они также знали способ золочения и серебрения медных изделий.

В лаборатории по исследованиям археологических материалов Массачусетского технологического института мои коллеги и я давно занимаемся изучением развития металлургии в доколумбовой Америке. В одном из районов Нового Света — Андах индейцы умели не только производить металлы и сплавы, но и обрабатывать поверхность изготовленных из них изделий для придания ей определенного цвета, высоко ценимого их культурой. Последние несколько лет мы посвятили именно изучению способов золочения и серебрения, изобретенных андскими мастерами.

Исследовав металлические изделия, относящиеся к различным периодам развития андских культур, мы определили два таких способа, которые можно считать основными: покрытие на основе электрохимического замещения (электрохимическое осаждение) и эрозионное золочение или серебрение. Оба способа были воспроизведены в лаборатории при использовании лишь тех материалов и методов, которые были доступны мастерам того времени. В каждом отдельном случае анализ самих предметов, обнаруженных археологами, подсказывал нам, какие именно материалы и методы могли применяться.

Указанные выше способы нанесения покрытий были изобретены и усовершенствованы выходцами из централь-

ных Анд. Из наиболее развитых андских культур, известных нам по археологическим исследованиям, самые ранние сыграли первостепенную роль в развитии металлургии в доколумбовой Южной Америке. К ним относится культура Чавин в северных горных районах Перу (VIII—IV вв. до н.э.), Моче на северном побережье Перу (I в. до н.э. — VIII в. н.э.) и Чиму — крупное прибрежное государство, простиравшееся от земель Моче до границ Эквадора (1150—1476 гг.). В записях испанских завоевателей отмечается, что инки привозили из Чиму в свою столицу Куско лучших золотых и серебряных дел мастеров.

Мастера Моче по металлам были самыми искусными. По виртуозности исполнения и качеству их изделия не сравнимы с творениями мастеров более поздних культур, включая инков. Инкские правители переняли методы, которыми пользовались металлурги Моче, превратив с виду золотые и серебряные предметы в символ своего могущества в управлении государством, простиравшемся от Колумбии до Аргентины на 5 тыс. км.

БОЛЬШОЕ количество металлических изделий культуры Моче было обнаружено недавно на северном побережье Перу у границ с Эквадором, в месте, называемом Лома-Негрой. Большинство этих изделий изготовлено из листовой ковanej меди. Именно ковку металлических листов, а не литье можно считать характерной особенностью металлургии Анд. Объемные предметы изготавливались из кусков листовой меди, каждый из которых имел особую форму. Предметы, извлеченные из земли археологами, были покрыты в результате длительного закоронения коррозионным слоем зеленого цвета, образованным из окислов и карбонатов меди. После удаления продуктов коррозии было установлено, что они изготовлены из листовой меди, покрытой золотом или серебром.

Проведенные нами металлографические исследования предметов, обнаруженных в Лома-Негре, показали, что толщина их покрытия золотом или серебром обычно составляет 0,5—2 мкм. Эти исследования привели к выявлению следующих особенностей таких покрытий. Во-первых, они отличаются постоянством толщины на любом из предметов и нанесены на всю их поверхность, включая кромки, по толщине соизмеримые с газетным листом. Во-вторых, диффузионная зона между слоем благородного металла и медью показывает, что на каком-то этапе нанесения покрытия предметы подвергались нагреву. В-третьих, покрытие осуществлялось способами, отличными от известных, таких, как огневое золочение, накладка золотой фольги или листа, обливка расплавленным драгоценным металлом или его наплавка.

Характерными особенностями этих покрытий являются их равномерность и чрезвычайно малая толщина. Более всего они напоминают покрытия, нанесенные методом современной гальваностегии, хотя в то время он не был известен. В гальваностегии благородный металл, находящийся в ионном состоянии в электролитическом растворе ванны, осаждается на основном металле, погруженном в нее. Процесс осуществляется с помощью внешнего источника электрического тока, например батареи, при подключении которого ионы начинают восстанавливаться до металла на отрицательном электроде.

Качество покрытий на предметах, обнаруженных в Лома-Негре, говорит о том, что их наносили одним из способов осаждения. Какой же из этих способов был известен мастерам Моче? Отметим, что в Старом Свете еще в древности применяли электрохимическое осаждение, например римляне — для покрытия железа медью. В конце VIII в. этим способом стали подготавливать железо к золочению. В XVIII в. его использовали для украшения стального оружия золотом.

Способ золочения электрохимическим осаждением, получивший распространение в Европе в XVIII в., видоизменяли в зависимости от обрабатываемого металла. Для золочения серебра или меди приготавливали раствор золота в ванне из смеси соляной и азотной кислот (царская водка). Для золочения стали использовался раствор поваренной соли, селитры и квасцов с растворенным в нем золотом. В каждом из этих методов ванну с растворенным золотом нагревали до полного испарения. Хлорид золота (AuCl_3) экстрагировали спиртом (в XIX в. — простым эфиром) из сложной смеси обезвоженных солей; полученный спиртовой раствор применяли для покрытия изделий золотом. Ни одна из кислот (азотная, серная и соляная), впервые полученных в Европе между XII и XVI веками, и дававших возможность растворять золото и серебро, не была известна андским мастерам. Однако для этой цели они могли использовать природно-активные минералы, которые имелись в изобилии на побережье Перу.

МЫ РЕШИЛИ попробовать перевести золото в водный раствор солей, которые могли использовать мочейцы. Наипростейшим и самым эффективным методом получения кислых ванн оказалось растворение в воде равных частей сульфата калия и алюминия, селитры и хлористого натрия. Смесь подогревалась в течение 2—5 дней до полного растворения золота (в ней присутствовали также ионы, характерные для царской водки). Полученный раствор обладал высокой окислительной способностью и моментально оказывал воздействие на погружаемую в него медь. Нам пришлось нейтрализовать его для создания условий осаждения золота на меди. Двууглекислый натрий оказался наиболее эффективным для этой цели, а оптимальное pH для нанесения покрытия было равно 9.

После 5 минут осторожного кипячения пластинка меди, погруженная в нейтрализованный раствор, вся, включая кромки, покрывалась золотом. Толщина этого покрытия составляла 1 мкм. При использовании описанного метода достигнуть удовлетворительной связи золота с медью удавалось в

МИНИАТЮРНАЯ МАСКА культуры Моче, обнаруженная в Лома-Негре (северное побережье Перу). Извлеченная из земли после многовекового погребения маска была покрыта окисью меди (*верхний снимок*). Под снятым «козырьком» маски была заметна ее золотая поверхность (*средний снимок*). Внизу — та же маска после окончательной ее очистки от окиси меди. Золотое покрытие нанесено способом электрохимического осаждения.





МАСКА МУМИИ, относящаяся к культуре Чиму, самая большая из известных. Ее ширина — 74 см, длина — 40 см. Слиток, из которого выковали лист для изготовления маски, содержал 40% золота, 48% серебра и 12% меди. Такой сплав известен под названием тумбага. Лист получен многократ-

ной ковкой, чередовавшейся отжигом и травлением. Серебро в поверхностном слое удаляли с помощью водных паст из природно-активных минералов. Образованную золотую поверхность затем полировали. Способ называется эрозивным золочением.



СПАРЕННЫЕ ПТИЦЫ, относящиеся к культуре Кимбайя в Колумбии. Изготовлено литьем из сплава тумбага, состоя-

щего из золота, серебра и меди. Медь из поверхностного слоя удаляли, вероятно, с помощью кислых соков растений.

том случае, если поверхность медной пластинки была исключительно чистой, без следов окислов.

Как уже отмечалось, металлографические исследования изделий из Лома-Негры выявили диффузионные зоны между осажденным золотом и медью, указывающие на применение специального нагрева для упрочнения связи золота с медью. Подвергая нагреву лабораторные образцы при температуре 650—800°C в течение нескольких секунд, нам также удалось достигнуть превосходного сцепления золотого покрытия с медной поверхностью.

Результаты экспериментов по электрохимическому осаждению оказались успешными: были получены золотые покрытия, весьма схожие (как визуально, так и по микроструктурным параметрам) с покрытиями изделий из Лома-Негры. Это наводит на мысль, что андские мастера применяли тот же способ, переводя золото и серебро в раствор природно-активных минералов. Возможно, их знакомство с этими минералами началось в ходе развития других ремесел. Например, минералы могли использоваться для приготовления тканевых красителей. Как бы то ни было, использование этого природного сырья является основным фактором в развитии способа покрытия металлических изделий благородными металлами.

Электрохимическое осаждение происходит, когда основной металл (в нашем случае медь) помещается в ванну с электролитом, содержащим положительно заряженные ионы благородного металла, например золота. Протекающая химическая реакция представляет собой обычную реакцию замещения: $2AuCl_3 + 3Cu \rightarrow 2Au + 3CuCl_2$. Однако не следует думать, что эта реакция полностью раскрывает процесс образования покрытия. В принципе, этот процесс можно сравнить с тем, который протекает в простейших современных электролизерах. Основными их элементами являются электролитическая ванна и помещенные в нее анод и катод, соединенные с внешней электрической цепью. Процесс осаждения прекращается, когда электродный потенциал выравнивается по всему объему электролита.

В ПРОЦЕССЕ электрохимического осаждения различные участки одной и той же поверхности образуют катодные и анодные области. В наших экспериментах небольшие ямки или неровности на поверхности медной пластинки первоначально служили анодами. Они продолжали свою анодную активность до тех пор, пока полностью не оказывались изолированными от электролита в результате осаждения золота на прилегающей катодной поверхности. Анодные и катодные обла-



РАЙОНЫ НОВОГО СВЕТА, где применялось эрозионное золочение и серебрение, обозначены цветом. В Перу этот способ был известен уже во втором тысячелетии до н.э. Андские мастера работали в основном с листовым металлом. Сплавы тумбага использовались главным образом в районах от Колумбии до западной Мексики.

сти остаются в равновесии, зависящем от наличия ионов, скорости их диффузии в электролите, а также от степени поляризации этих участков. Хорошее осаждение происходит тогда, когда анодные участки становятся почти невидимыми, но тем не менее остаются еще не полностью изолированными от электролита.

Традиционный способ выковывания медных листов и их соединения, применявшийся андскими мастерами для изготовления объемных изделий, привел, по-видимому, к открытию другого способа обогащения поверхностного слоя драгоценным металлом. Этот метод, который я буду называть эрозионным золочением или серебрением, начинается с получения слитков из спла-

вов меди и серебра, меди и золота или меди, серебра и золота.

Ковкой достигалось упрочнение таких сплавов. Слиток выковывался в лист уменьшающейся толщины до тех пор, пока металл не становился слишком твердым и хрупким. После этого кузнец подвергал лист отжигу, нагревая его до темно-красного каления, с тем чтобы произошла перекристаллизация металла и он вновь стал ковким.

Самый древний сплав, известный по археологическим раскопкам в Андах, представляет собой сплав меди и серебра. Он обладает хорошей ковкостью и способностью сохранять приданную ему форму. После выковывания листа из такого сплава его отжигали для восстановления ковкости, при этом лист



ПОВЕРХНОСТЬ ЛИСТА, покрытого золотом способом электрохимического осаждения в лаборатории Массачусетского технологического института и частично полированного. Лист был изготовлен из меди. Граница между полированной областью (слева) и неполированной (справа) видна в средней части фотографии (× 500).



НЕПОЛИРОВАННАЯ ЧАСТЬ ЛИСТА покрыта кратеровидными порами (× 2000), образующимися при электрохимическом осаждении у анодных (положительно заряженных) ямок в меди. Для нанесения покрытия медный лист погружали в электролит с растворенным в нем золотом. Золото осаждается на поверхностях, прилегающих к анодным ямкам; эти поверхности являются катодными (отрицательно заряженными). В процессе осаждения вокруг каждой ямки образуется выступающее кольцо из золота.

покрывался окисной пленкой, образующейся при взаимодействии меди с кислородом воздуха. Поскольку серебро окисляется не так быстро, то после неоднократного повторения цикла ковка—отжиг—удаление окисной пленки поверхностный слой обогащается серебром за счет перехода меди в окисел.

В конечном итоге поверхность листа обретает серебряное покрытие. Образующаяся при отжиге окись меди имеет цвет от коричневого до черного. Окисную пленку можно удалить травлением. Андские мастера могли использовать для этого выдержанную мочу (мочевина в свежей моче превращается в аммиак) или кислые соки некоторых растений. В любом случае образование серебряной поверхности является результатом отжига на воздухе.

Несколько предметов из медносеребряных сплавов были изготовлены еще до расцвета культуры Моче. Однако именно мастера Моче превзошли всех в этом деле. Они применяли сплавы с содержанием серебра от 50 до 20% по весу. Изготовленные ими изделия были прочными и походили на серебряные. В послемочейский период подобные сплавы продолжали использоваться с той же целью.

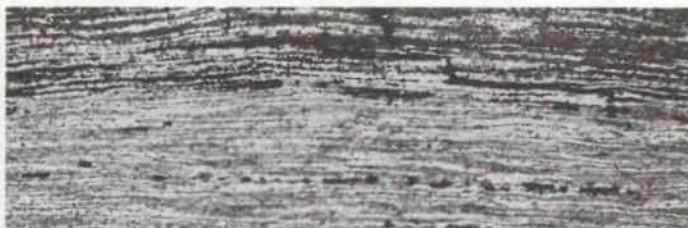
НАИБОЛЕЕ важным сплавом, созданным мастерами Моче, был сплав меди и золота, известный под названием тумбага в Карибских Андах, где испанцы впервые услышали это слово. При совместном плавлении меди и золота эти металлы легко смешиваются. После охлаждения и затвердевания таких смесей образуется целая серия твердых растворов с различным соотношением названных компонентов. Сплавы меди и золота, применявшиеся в доколумбовый период, композиционно разнообразны: некоторые из них содержат не более 12% золота. Цвет сплава зависит от его композиции. Тумбага с высоким содержанием меди имеет красный или розовый цвет, с высоким содержанием золота — желтоватый.

Во многих из этих сплавов было также обнаружено серебро. По-видимому, их получали добавлением золота в медно-серебряные сплавы, либо золото уже содержало некоторое количество серебра. В любом случае сплав назывался тумбагой независимо от того, состоял ли он только из золота и меди или содержал еще и серебро. Впервые полученные в центральных Андах, эти сплавы появились затем во многих областях доколумбовых Южной и Центральной Америк и были известны даже в Мексике.

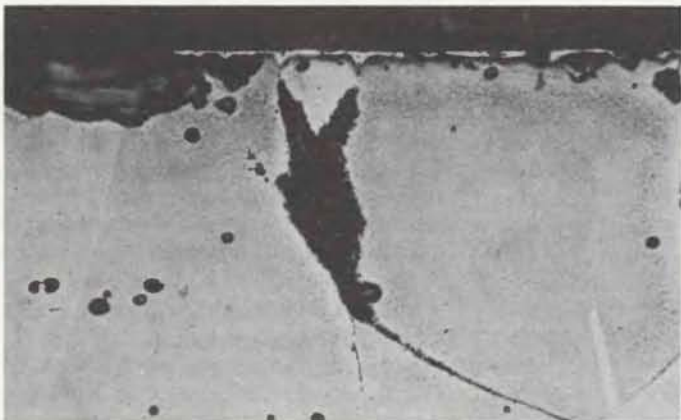
Отжиг медно-золотого листа, как и медно-серебряного, приводит к обогащению его поверхностного слоя драгоценным металлом в результате последовательного окисления меди и удале-



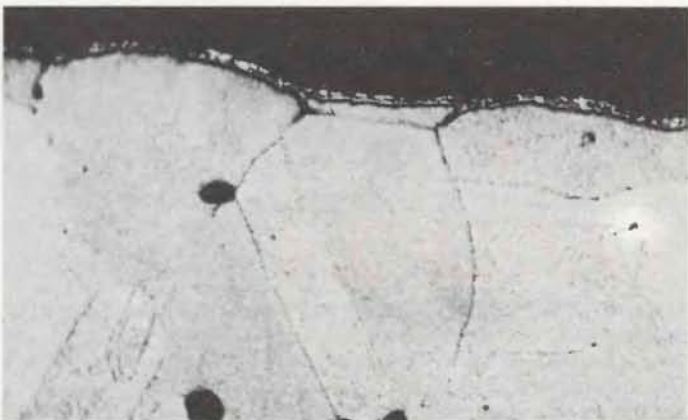
ПЕРУАНСКАЯ ПОДВЕСКА (левый снимок) из долины Лорин района Малпасо, сделана из медно-серебряного сплава. Серебряное покрытие получено многократной ковкой, отжигом и травлением. Подвеска, имеющая длину всего 20 мм, — самый древний из андских предметов, изготовленных из медно-серебряного сплава. На правом снимке представлена фотография ее поперечного среза ($\times 500$). При кристаллизации слитка (из которого ковались листы) обра-



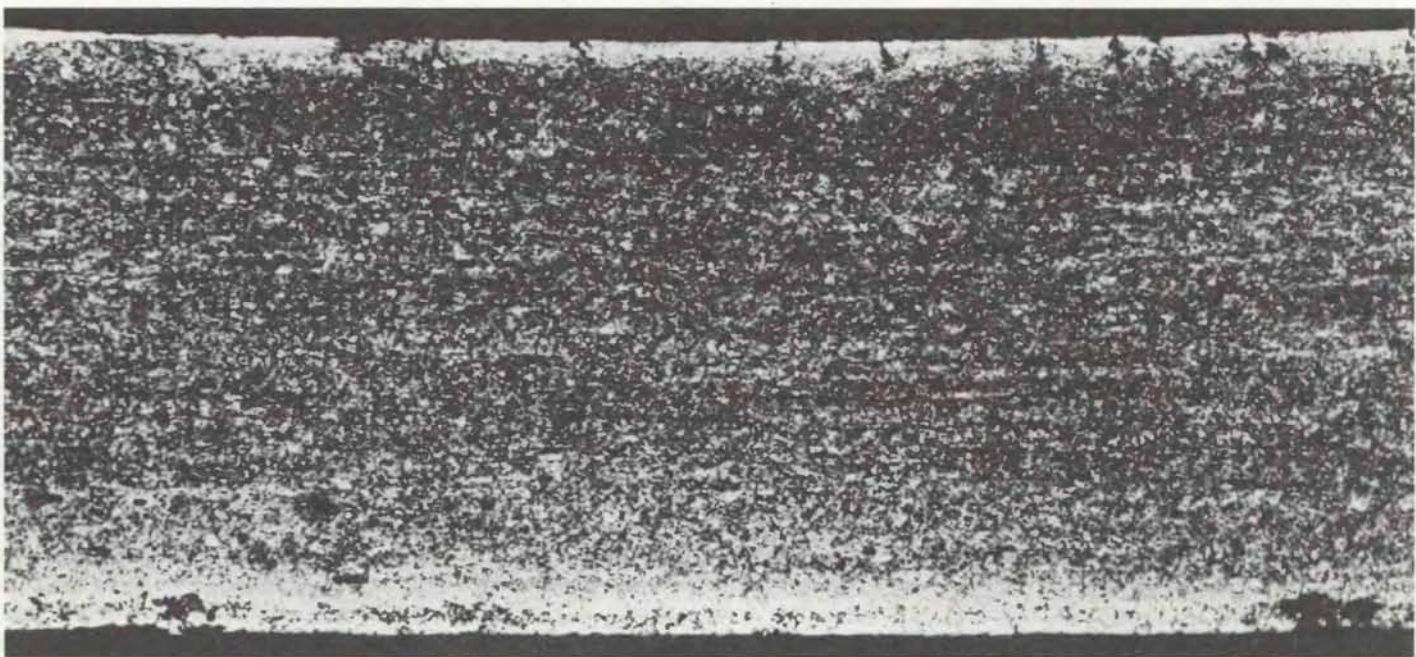
зовывалась фаза, богатая серебром, и эвтектика, содержащая серебряную и медную фазы (эвтектика — это такая композиция сплава, которая имеет самую низкую точку плавления). Последующая ковка и отжиг приводили к тому, что серебрянообогащенная и меднообогащенная фазы сплава разделялись более или менее полно, как видно по промежуточным слоям на фотографии. Слои с высоким содержанием меди также подверглись коррозии.



МИКРОФОТОГРАФИЯ ($\times 500$) покрытого золотом медного листа из Лома-Негры. На некоторых листах золотое покрытие имеет толщину около 0,2 мкм. V-образная линия справа внизу означает границу кристаллического зерна меди. Много меньшие V-образные утолщения внутри золотого слоя образуются в результате диффузии золота вдоль границ медных зерен при нагревании листа для лучшего сцепления двух металлов. Маленькие черные области — окись меди; большие черные области — зоны коррозии.

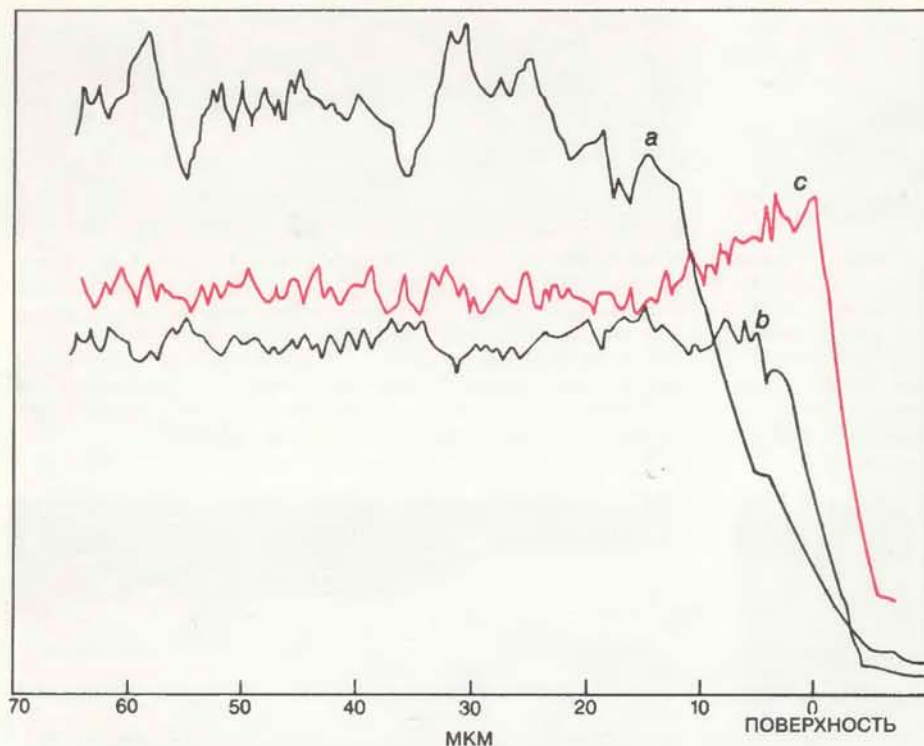


ДРУГОЙ МЕДНЫЙ ЛИСТ ($\times 1000$) с золотым покрытием, полученным электрохимическим осаждением в лаборатории автора. Лист погружался в электролитическую ванну с растворенным золотом. Ванна содержала раствор природно-активных минералов, которыми могли пользоваться мастера Моче. После покрытия образца золотом он нагревался в течение 15 с в горячем пламени. Нагрев способствовал диффузии золота вдоль границ медных зерен; тем самым укреплялась связь между двумя металлами.

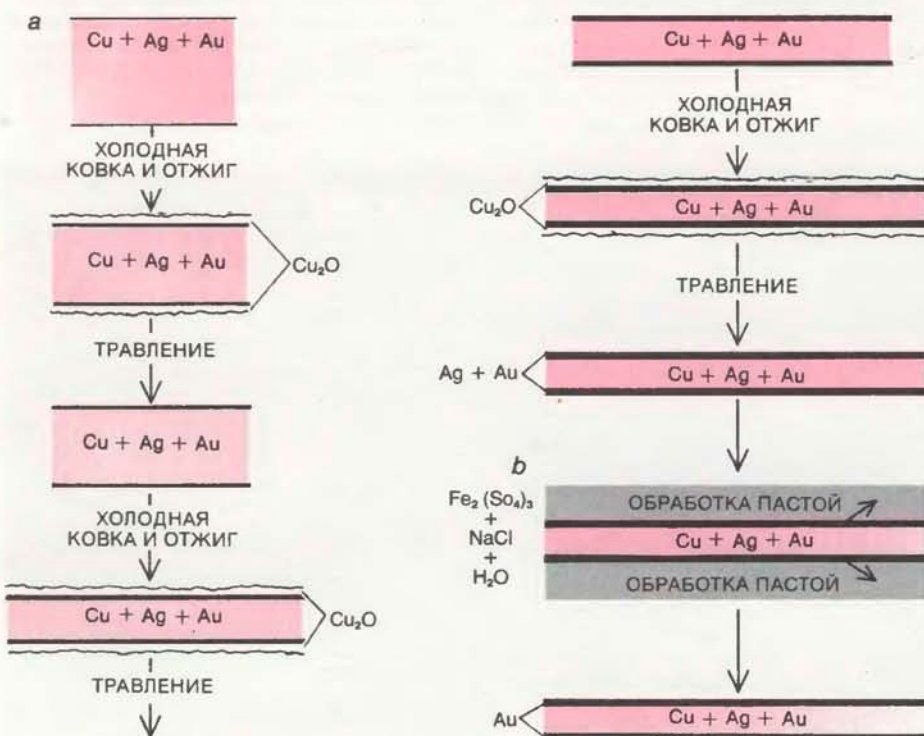


ФОТОГРАФИЯ ($\times 200$) поперечного сечения элемента маски, показанной на с. 20. Поверхностные области, более светлые по сравнению с внутренними, обогащены серебром и золо-

том путем повторяющихся отжигов и травлений (эрозионное золочение). Борозды соответствуют фазам разных составов.



ПРОФИЛИ КОНЦЕНТРАЦИЙ для того же элемента маски, изображенной на с. 20, показывают изменение концентрации каждого металла (меди, золота и серебра) от середины поперечного сечения (слева) к ее поверхности. Концентрация меди (черный цвет) оставалась относительно постоянной, пока анализирующий луч не достиг отметки 12 мкм от поверхности образца (a). Здесь концентрация меди резко падала. Концентрация серебра (серый цвет) также оставалась относительно постоянной до отметки около 5 мкм от поверхности образца (b). В то же время концентрация золота здесь начинала возрастать по направлению к поверхности (c).



ЭРОЗИОННОЕ ЗОЛОЧЕНИЕ можно представить схематично. Первая стадия (a) представляет собой получение листа из сплава меди, серебра и золота. После неоднократного отжига и травления лист покрывался слоем, состоящим из серебра и золота. Следующая стадия (b) — удаление из поверхностного слоя серебра с помощью пасты из сульфата железа и соли. Паста растворяла серебро, оставляя на поверхности только золото.

ния окисла. Такой лист кажется изготовленным из чистого золота. Когда в сплаве присутствует и серебро, то поверхностный слой обогащен обоими драгоценными металлами и его цвет варьирует от серебристо-белого до бледно-желтого. Если требуется получить поверхностный слой, обогащенный только золотом, то в сплаве не должно содержаться серебро.

Отделить серебро от золота без применения очищенных кислот не просто, однако мастера Моче умели делать это, по-видимому, обрабатывая поверхность листа пастами, приготовленными из природно-активных минералов. Наши лабораторные эксперименты показали, что серебро хорошо удаляется с поверхности листа, изготовленного из сплава золота, серебра и меди, с помощью водной пасты из сернокислого железа и соли. Сернокислое железо в этом случае также эффективно, как и серная кислота. Этот же способ переняли затем мастера культуры Чиму, господствовавшей на северном побережье Перу до покорения этого района инками в 1476 г.

Многие золотые андские маски мумий, столь знакомые посетителям музеев, изготовлены мастерами Чиму. Самая большая из них (ширина — 74 см, длина — 40 см), сделанная из листового металла, находится в Метрополитен-музее в Нью-Йорке. Ее золотая поверхность ослепительна, но, как показали наши лабораторные анализы, она изготовлена из сплава тумбага, содержащего 40% золота, 48% серебра и 12% меди. Отлитый нами сплав аналогичной композиции имел бледно-розовый цвет. Этот экспонат относительно богат золотом. Некоторые мастера Чиму получали листы с тускло-золотой поверхностью, изготовленные из слитков, содержащих всего лишь 12% золота, остальное — преимущественно медь.

КОГДА в XVI в. испанцы завоевали Мексику, Центральную и Южную Америку, сплавы тумбага были там в обычном употреблении. В центральных Андах из них получали в основном листы с золотым покрытием, в северных же областях Южной Америки, в Центральной Америке и Мексике они использовались для изготовления литых изделий.

Золочение литых изделий производилось путем растворения медной основы в кислых растворах. Отжиг не был обязательным. Только в случае, когда сплав был с низким содержанием золота, чередующиеся отжиг и травление были необходимы для получения поверхностного слоя, обогащенного золотом. Встречаются изделия, изготовленные из сплава тумбага, с цветовыми контрастами. Это достигалось тем, что химической обработке под-

вергались лишь определенные участки поверхности изделия. Они обретали цвет золота, остальная же поверхность имела красноватый цвет меди. Иногда для получения цветовых контрастов изделия отливали из различных сплавов тумбага.

Помимо золочения и серебрения электрохимическим осаждением андские мастера применяли и другие способы покрытия металлических поверхностей благородными металлами: обливку изделия золотым расплавом, а также накладку на поверхность металла фольги. Однако к ним они обращались не часто. Даже способ электрохимического осаждения оказал лишь местное и кратковременное влияние на развитие доколумбовой металлургии. Способ же эрозионного золочения оставался доминирующим в Новом Свете в течение двух тысячелетий.

Попытаемся объяснить этот факт исходя из особенностей доколумбовых андских культур, в частности их отношения к металлам. Для этого сначала обратимся к истории развития металлургии Старого Света. В бронзовый и железный века в Европе и на Ближнем Востоке производство оружия, орудий труда и средств передвижения служило главным стимулом развития металлургии. Оружие и орудия труда были основными изделиями металлургов, которые стремились придать им необходимые механические свойства: твердость, прочность, способность хорошо затачиваться и долго не затупляться.

В Новом Свете первостепенная роль отводилась производству металлических изделий, служивших символом власти, превосходства и религиозного поклонения. К таким атрибутам власти и превосходства как в этом, так и в потустороннем мире относились изящные серьги, носовые кольца, предметы религиозного культа и маски мумий, например такие, которые изготовляли мастера культуры Чиму.

Говоря языком этнографов, металлы в Новом Свете выполняли важные символические функции. Именно стремление получить металлы с такими свойствами и определяло развитие андской металлургии. Основным свойством считался цвет, главными же цветами в Новом Свете были цвет золота и серебра.

ИЗ СОХРАНИВШИХСЯ письменных свидетельств испанцев о религиозной и политической жизни инков известно, что начало династии верховных инков положил якобы брачный союз Солнца и Луны. Золото инки считали «каплями пота Солнца», а серебро — «слезами Луны». Таким образом, оба металла фигурируют в мифе о происхождении высшей династии, и их запасы находились полностью под контролем правителя. Испанцы были вос-

ГОД	ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ХРОНОЛОГИЯ	СОБЫТИЯ
1534	КОЛОНИАЛЬНЫЙ ПЕРИОД	ИСПАНСКОЕ ГОСПОДСТВО
1500	ПОЗДНЯЯ СТАДИЯ	ИНКСКОЕ ГОСУДАРСТВО
1476	ПОЗДНИЙ ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ ПЕРИОД	ГОСУДАРСТВО ЧИМОР КУЛЬТУРА ЧИМУ
1000		
500	СРЕДНЯЯ СТАДИЯ	ГОСУДАРСТВО УАРИ
н.э.	РАННИЙ ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ ПЕРИОД	ВЛИЯНИЕ КУЛЬТУРЫ НАСКА
до н.э.		
500	РАННЯЯ СТАДИЯ	КУЛЬТУРА МОЧЕ
1000		
1500	НАЧАЛЬНЫЙ ПЕРИОД	ТРАДИЦИИ ПАРАКАС—НАСКА
2000		
		ВЛИЯНИЕ КУЛЬТУРЫ ЧАВИН

ХРОНОЛОГИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА, где представлены основные периоды истории андских культур от 2000 г. до н.э. (начальный период) до времени испанского завоевания в 1534 г. (колониальный период).

хищены покоями инкских дворцов и их внутренними садами, в которых металлические растения, цветы и птицы переливались золотыми и серебряными красками. Андское искусство золочения и серебрения тем не менее зародилось намного раньше, примерно в 1000 г. до н.э., с распространением религиозного культа Чавин на значительной территории центральных Анд. В ритуалах этого культа преобладали золотые предметы, и первое использование сплава из меди и серебра относится именно к этому периоду.

Для металлургов Анд особое значение имел не только цвет, но и свойства поверхности предмета как таковой. Цвет предмета «живет» на его поверхности. Материал же под этой поверхностью может иметь совсем другой цвет. Неудивительно поэтому, что основным достижением андских мастеров является изобретение ими способов золочения и серебрения металлических изделий, изготовленных из неблагородного металла или его сплава с золотом и серебром. К этим способам относятся электрохимическое осаждение и эрозионное золочение и серебрение.

Почему именно второй из этих способов был наиболее распространенным сначала в Андах, а потом и за их пределами? Возможно потому, что с его помощью поверхность предмета обретала «благородство», уже заключенное в самом материале. Обогащение поверхности подчеркивало это особое свойство металла, иными словами, это означало, что сплав, из которого изготовлен предмет, содержит благородный металл (золото или серебро), проявляющийся позже на поверхности этого предмета. Цвет, который приобретала поверхность, становился главной особенностью предмета, превращавшей его в символ власти, превосходства и религиозного поклонения. Однако цвет поверхности — это лишь внешнее проявление внутреннего свойства.

Могли ли способствовать изобретению и развитию указанных способов какие-либо экономические и технические факторы? Определенно ответить на этот вопрос, возможно, так и не удастся. Несомненно, однако, что идейные факторы здесь сыграли главную роль.

Массовые вымирания в океане

За последние 700 млн. лет в течение коротких промежутков времени вымерли многие морские животные и растения. Геологический анализ свидетельствует, что большинство кризисов было вызвано похолоданием воды в океане

СТИВЕН М. СТЭНЛИ

НА ПРОТЯЖЕНИИ геологической истории Земли шло вымирание растений и животных, причем темпы вымирания обычно колебались весьма незначительно. Время от времени, однако, число исчезающих видов резко возрастало. Такие массовые вымирания затрагивали как наземные, так и морские организмы, однако анализ ископаемых остатков свидетельствует, что обитатели моря страдали больше. Во время небольших в геологическом масштабе промежутков времени — порядка нескольких миллионов лет — вымерло большинство видов (или половина семейств) морских организмов. Эти опустошения могли быть вызваны лишь существенными изменениями в окружающей среде в региональном или даже глобальном масштабе. В течение ряда лет некоторые ученые выдвигали для объяснения этих кризисов довольно экзотические предположения, рассматривая, например, влияние космической радиации, вызванной взрывом сверхновой звезды. Другие исследователи обращались к более «земным» причинам, имея в виду резкие изменения «лимитирующих факторов» окружающей среды, таких, как температура и жизненное пространство на дне моря, от которых обычно зависят распределение и численность видов морских организмов.

Наиболее важным фактором, ограничивающим географическое распространение видов в океане, является температура воды, поскольку определенные виды могут существовать только в определенном температурном диапазоне. Похолодание климата могло уничтожить все те виды, которые не адаптировались к более низкой температуре и не имели возможности мигрировать в более теплые районы.

В этой статье я приведу современные доказательства того, что среди причин большинства известных морских кризисов главной причиной были похолодания климата. Эти доказательства делятся на три типа. Во-первых, для некоторых случаев имеются независимые

подтверждения того, что похолодание происходило одновременно с массовым вымиранием; к таким доказательствам относится, например, присутствие гравия ледникового происхождения (хотя следует отметить, что похолодание не всегда сопровождалось оледенением). Во-вторых, как свидетельствуют ископаемые остатки, виды, адаптировавшиеся к обитанию в теплой воде или способные существовать лишь в узком температурном диапазоне, страдали больше других. Именно так и должно было быть в том случае, если кризисы вызывались понижением температуры. В-третьих, имеются указания на то, что в основном массовые вымирания в океане происходили не сразу, а постепенно — в течение сотен тысяч и даже миллионов лет. Эта особенность хорошо увязывается с характером похолоданий, которые случались эпизодически и были растянуты во времени.

Даже наиболее известный кризис — исчезновение в конце мелового периода (около 65 млн. лет назад) динозавров, а вместе с ними и многих морских видов, был, как мы представляем сейчас, постепенным. Я попытаюсь показать, что здесь заключено основное возражение против гипотезы, объясняющей меловой кризис столкновением с астероидом, гипотезы, предложенной У. и Л. Альваресами и их коллегами по Калифорнийскому университету в Беркли*. Поскольку последствия столкновения для окружающей среды должны иметь относительно кратковременный характер, столкновение не может полностью объяснить кризис, который продолжался, вероятно, не менее 2 млн. лет. Кроме того, даже если гипотеза Альвареса и верна, то приписывать столкновением с астероидами другие многочисленные кризисы нет оснований.

* См. статью Д. А. Рассела «Массовые вымирания позднего мезозоя». — В мире науки, № 1, 1983. — Прим. ред.

ПРЕЖДЕ чем подробно рассмотреть доказательства связи массовых вымираний с похолоданиями климата, позвольте мне обсудить слабые места альтернативной гипотезы, согласно которой наиболее важным считается изменение другого лимитирующего фактора — площади дна мелководья; эта площадь уменьшается, когда уровень океана падает и континентальный шельф частично обнажается. Согласно этой гипотезе, для поддержания различных популяций бентосных животных, которые не могут адаптироваться к условиям больших глубин, требуются обширные пространства мелководья. Однако в действительности дело обстоит иначе. Очень узкий континентальный шельф может вмещать огромное разнообразие бентосных животных. К примеру, около 3000 видов моллюсков, представляющих сотни семейств, населяют тропические участки континентального шельфа вдоль западного побережья обеих Америк. Тысяча или около того видов моллюсков обитает на небольших мелководных участках морского дна вблизи Гавайских островов.

Кроме того, в последнее время мы гораздо больше узнали об изменениях уровня океана в далеком прошлом. Новые данные показывают, что «перенаселение», вызываемое понижением уровня океана, не могло быть причиной большинства из известных массовых вымираний. Большой объем данных получен в результате применения в стратиграфических исследованиях методов сейсмографии, разработанных сотрудниками корпорации Exxon. По отражению звуковой волны от древних осадочных слоев, залегающих под современным континентальным шельфом, можно обнаружить поверхности раздела между слоями, обладающими различной плотностью и по-разному преломляющими звуковые волны. Так, например, можно определить границу между слоем ила, отложившимся на глубокой воде, и аллювиальными песками, которые аккумуляровались на

прибрежной равнине в более поздние времена, после того как уровень океана понизился. Изучение пород суши позволяет определить иные случаи, когда уровень океана был выше современного.

Эти исследования показали, что во время многих массовых вымираний уровень океана был не ниже, чем в настоящее время. Напротив, часто бывало так, что уровень падал, но биотические кризисы не происходили. Рассмотрим один пример. В позднем эоцене, около 40 млн. лет назад, когда вымерли многие европейские морские виды, значительная часть Европы была покрыта мелководными морями. В последующую эпоху, олигоцен, эти моря обмелели, после того как океан отступил (его уровень оказался самым низ-

ким за последние несколько сотен миллионов лет). Хотя низкий уровень сохранился в течение еще 5 млн. лет, вымирание морских видов в Европе, да и в других местах, шло медленными темпами или во всяком случае не было чрезмерным. Уменьшение жизненного пространства на мелководье должно ограничивать число обитающих там видов, но этот эффект незначителен.

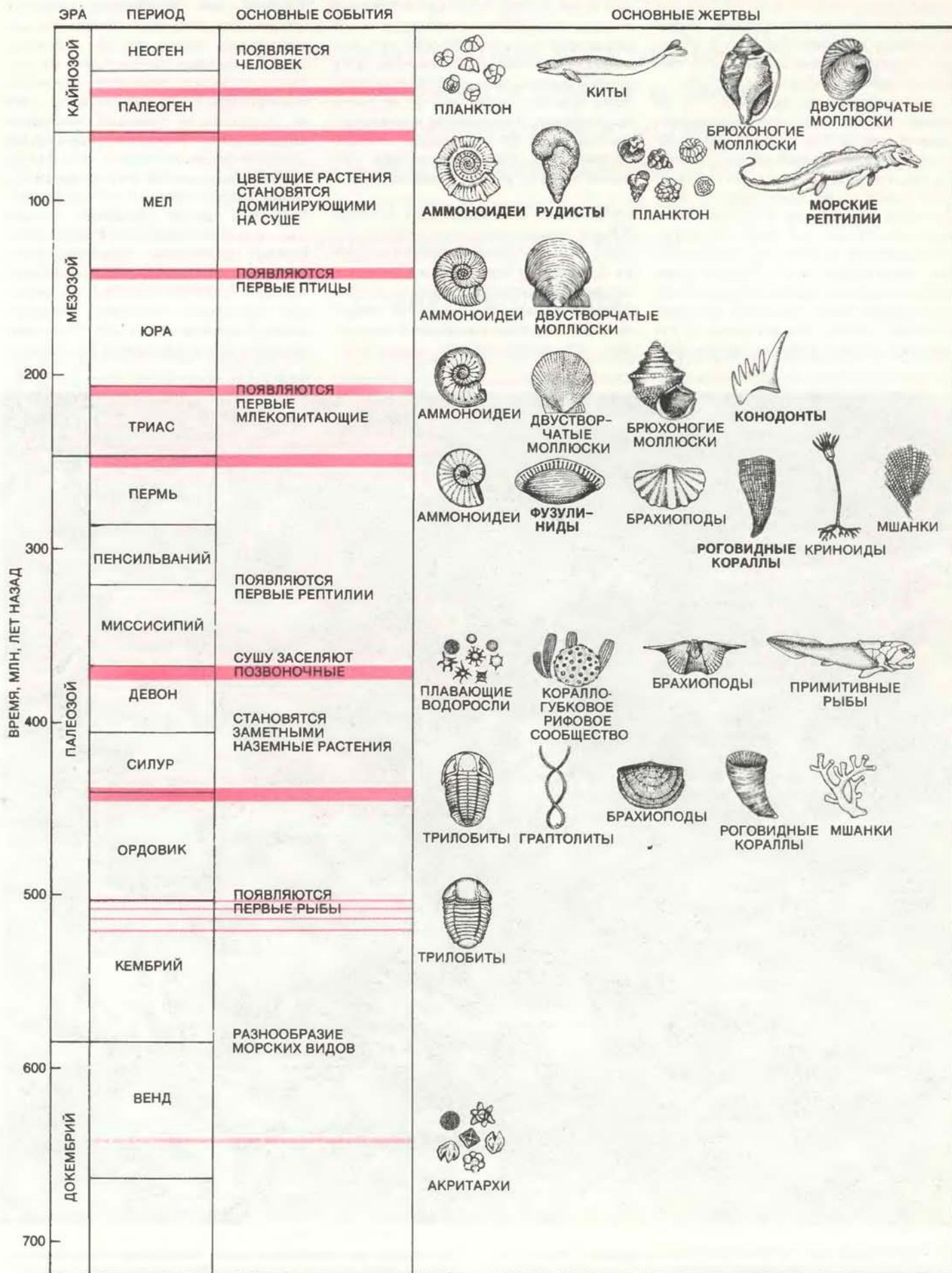
ВТЕЧЕНИЕ последних 3 млн. лет уровень океана понизился на 100 м из-за того, что растущие ледники изымали из гидросферы огромные массы воды. Во время оледенений в океанах исчезло большое количество видов, но географическая картина вымираний показывает, что причиной было скорее похо-

лодание, чем уменьшение площади мелководья. Эта связь становится ясной только теперь, так как в течение долгого времени палеонтологи не уделяли должного внимания массовым вымираниям в ледниковую эпоху. Они не располагали точными методами определения возраста ископаемой морской фауны и считали, что фауна, включающая многие вымершие виды, геологически старая и что эти виды вымирили с низкой «фоновой» скоростью. Изучение микроскопических ископаемых организмов, например планктонных фораминифер (плавающих животных, подобных амебам, но имеющих раковину), позволило уточнить возраст осадков и показало, что в ледниковую эпоху вымирания были дейст-



ИСКАПАЕМЫЕ МОЛЛЮСКИ, жертвы ледникового периода, в ракушечном пласте формации песков Пайнкрест вблизи Сарасоты, шт. Флорида. Во время оледенений за последние 3 млн. лет в этом районе вымерло около 70% видов моллюсков. Среди двустворчатых моллюсков виды, адаптировавшиеся только к тропическим условиям, вымерли полнос-

тью, тогда как некоторые виды, способные жить при умеренной температуре, выжили. Эта особенность означает, что причиной вымираний было похолодание климата. Моллюски, изображенные на фотографии, в среднем имеют несколько дюймов в диаметре.



МАССОВЫЕ ВЫМИРАНИЯ (цветные полосы) коснулись всех форм морской жизни — от одноклеточных водорослей и планктона до гигантских рептилий и китов. Во многих случаях группы животных или растений после кризиса восста-

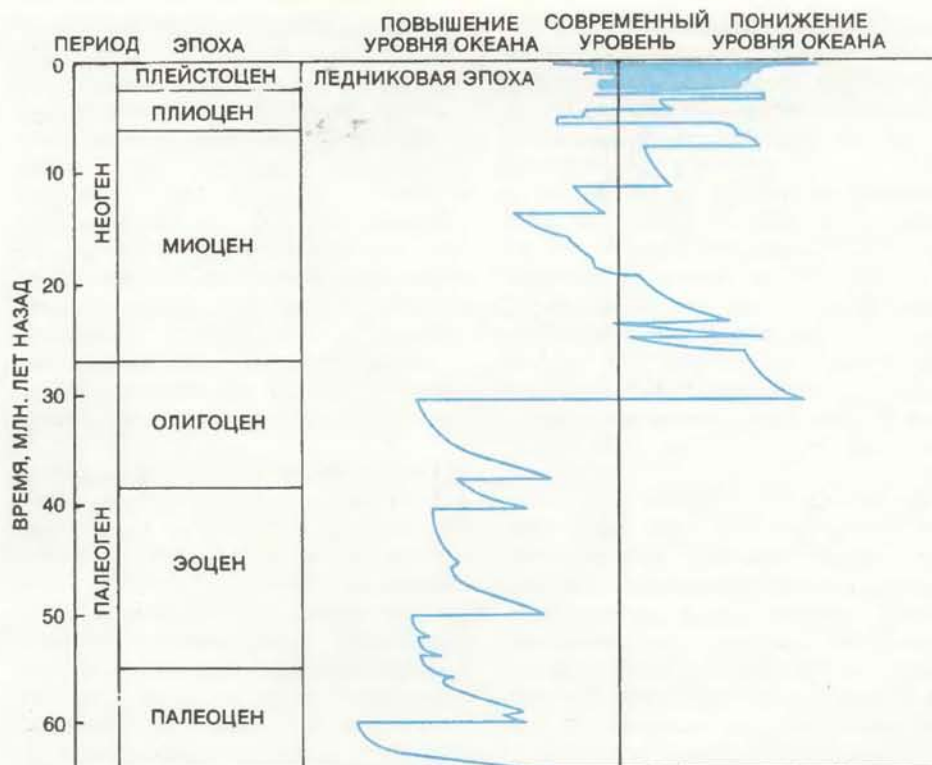
навливались и давали начало новым видам, в других случаях целые группы исчезали (их названия выделены жирным шрифтом).

вительно массовыми. Во многих случаях ископаемая фауна, имеющая возраст всего лишь 4 млн. лет, более чем наполовину представлена вымершими видами.

Если бы вымирания в ледниковую эпоху были обусловлены понижением уровня океана, они бы коснулись шельфовых сообществ во всем Мировом океане. Вместо этого ученые, изучающие ископаемых моллюсков, нашли, что обширные вымирания происходили только в районах, окаймляющих Северную Атлантику. Фауна Западной Атлантики и Карибского бассейна пострадала больше всего, потеряв 70% видов; в Средиземном и Северном морях исчезло около 30% видов моллюсков. Напротив, фауна моллюсков на побережье современной Калифорнии, Панамы и Японии в Тихом океане не дает доказательств обширных вымираний во время оледенений.

Этот пример подтверждает «гипотезу похолодания». Вымершие виды были приспособлены к обитанию в теплой воде или к узкому температурному диапазону и не могли мигрировать, спасаясь от похолодания, связанного с распространением льдов. В то же время тихоокеанская фауна имела возможность мигрировать на север или на юг по мере изменения температуры. Взглянув на карту, легко убедиться, что Средиземное или Карибское моря не дают такой возможности. Когда во время наступления льдов температура в этих тропических бассейнах падала, многие моллюски, оказавшиеся в остывающих морях, как в ловушках, погибали. Пески формации Пайнкрест в центральной и южной частях Флориды, возраст которых датируется ранним плиоценом (около 3,5—4 млн. лет) являют собой яркое свидетельство этого процесса. Они содержат огромное количество остатков тропических моллюсков, включая многие виды двустворчатых. Двустворчатые моллюски, живущие в этом регионе в настоящее время, представляют те виды, которые способны существовать не только в тропиках, но и в умеренно теплых водах. Все чисто тропические виды вымерли.

В КАКОЙ степени похолодания климата объясняют более ранние массовые вымирания? Во время уже упоминавшегося эоценового кризиса, который продолжался несколько миллионов лет, вымирания были более обширными, чем во время ледниковой эпохи. Наряду с европейской фауной сильно пострадали моллюски южной части Тихого океана и моллюски, обитавшие вдоль его северо-западного побережья. В этом последнем районе, как показал К. Хикман из Беркли, виды, принадлежавшие к южным (теплолюбивым) таксономическим группам, пострадали больше других. Р. Цифелли



ЗНАЧИТЕЛЬНОЕ ПОНИЖЕНИЕ УРОВНЯ ОКЕАНА около 30 млн. лет назад не вызвало заметного массового вымирания. Этот факт противоречит гипотезе о том, что понижение уровня океана приводило к кризисам, так как уменьшалось жизненное пространство на дне мелководных морей. В олигоцене поверхность океана опустилась до самого низкого за последние 600 млн. лет уровня и оставалась ниже кромки современного континентального шельфа в течение почти 5 млн. лет. Отсутствие массовых вымираний в олигоцене резко контрастирует с ситуацией в предшествующей эпохе, эоцене. Эоценовый кризис уничтожил многие морские виды, хотя в ту пору мелководные моря покрывали большие площади континентов. Понижения уровня океана, связанные с оледенениями, совпадали по времени с вспышками вымираний, однако особенности кризисов позволяют предположить, что причиной вымираний были все-таки похолодания.

из Смитсоновского института, который первым отметил этот кризис, обнаружил, что большинство типов планктонных фораминифер вымерло, но одна группа — глобигериниды — выжила и стала доминирующей в олигоцене. В наше время глобигериниды являются уникальными представителями планктонных фораминифер, поскольку они распространены в холодных водах; те виды, которые сейчас обитают в теплых морях, эволюционировали с эоцена. То, что глобигериниды остались процветать, в то время как их теплолюбивые родственники исчезли, можно объяснить только тем, что причиной кризиса было похолодание.

Имеется еще один веский аргумент в пользу предположения, что вымирания происходили одновременно с падениями температуры. Ископаемые листья, найденные в районе залива Пюже, свидетельствуют о том, что леса, близкие по характеру к тропическим, сменились лесами умеренной полосы примерно в то же время, когда исчезли моллюски из ближайших прибрежных вод. Анализируя, как изменялось соотношение видов растений, имеющих листья с ровными краями, и видов, имеющих зубчатые листья, можно оце-

нить изменения температуры в данном регионе: листья с гладкими краями наиболее характерны для тропического климата, в то время как листья с зубчатыми краями доминируют в умеренных зонах. Используя этот метод, Дж. Вульф из Геологической службы США подсчитал, что в северо-западной части Тихого океана средняя годовая температура в позднем эоцене понизилась на 10°C. Аналогичные данные свидетельствуют и о значительном похолодании на Британских островах.

Похолодания в эоцене, как и в ледниковую эпоху, распространялись от полюсов к экватору неравномерно. Ископаемые остатки в глубоководных отложениях около Антарктиды показывают, что ледники здесь образовались в конце эпохи. Одним из результатов этого, как показали Р. Бенсон из Смитсоновского института и другие ученые, были значительные изменения в термической структуре океана. По мере охлаждения приантарктические воды становились более тяжелыми, опускались в глубину и двигались к северу, формируя холодный глубинный слой, называемый психросферой, который сохранился до настоящего времени. Отделение Гренландии от Европы во

время эоцена также могло способствовать созданию психросферы, делая возможным проникновение холодной арктической воды в Атлантику.

В то же время нет оснований предполагать, что основные похолодания климата в ранней истории Земли были связаны с распространением холода от полюсов. В действительности эти похолодания носили, вероятно, глобальный характер, так что значительные падения температуры имели место и в экваториальных районах и в высоких широтах. Такие всемирные похолодания должны были сильнее всего разрушать тропические биоты. (Биота — совокупность организмов, живущих в данном районе. — *Перев.*) В то время как биоты высоких широт, если этому не препятствовали географические барьеры, могли мигрировать в направлении экватора, следуя за климатической зоной, к которой они адаптировались, для тропических видов убежища не существовало, поскольку они и так обитали в самых теплых водах. К тому же, тропические виды в большинстве своем меньше приспособлены к изменениям температуры, чем виды, обитающие в умеренных широтах, где се-

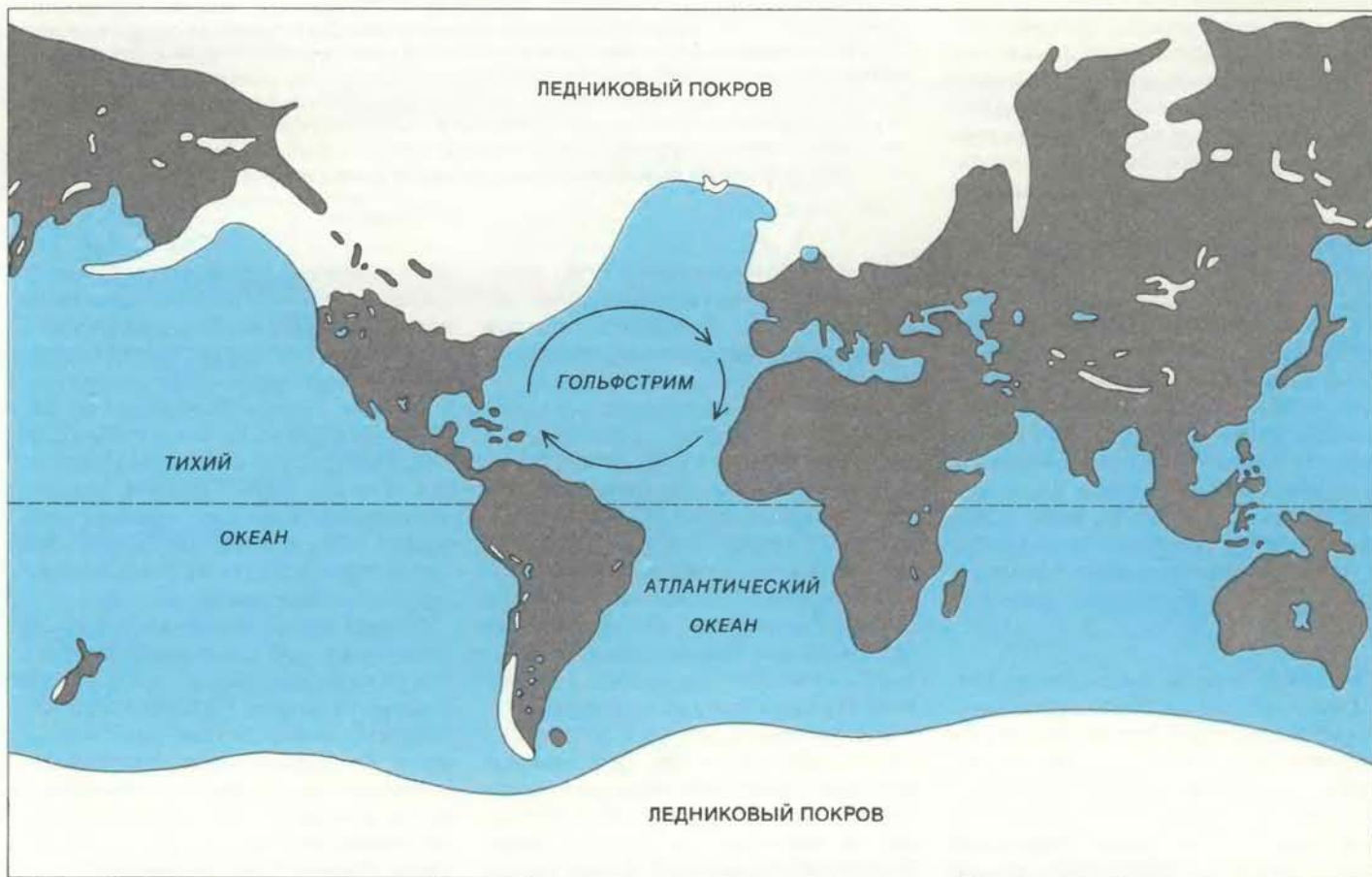
зонные колебания температуры больше. Падение температуры воды ниже 18°C привело бы к исчезновению многих современных тропических видов. Если глобальное похолодание способствовало возникновению морских кризисов, которые предшествовали кайнозойской эре (эра млекопитающих, начавшаяся 65 млн. лет назад), то в массовых вымираниях должна была отразиться эта «тропическая направленность». Изучение ископаемых остатков показывает, что палеонтологические «записи» действительно несут на себе «отпечаток» этой особенности.

НАИЛУЧШИМ образом документировано массовое вымирание, которым завершилась мезозойская эра (эра динозавров) и началась кайнозойская. Последним периодом мезозоя был мел. Во время позднемелового периода неглубокие моря занимали большие площади континента, которые в настоящее время обнажены. Пояс тропических морей, известный под названием Тетисного морского бассейна, или Тетиса, проходил через Юго-восточную Азию, Средиземноморье и Мексиканский залив. Из морских организмов фа-

уна Тетиса пострадала на конечном этапе мелового кризиса больше всего.

Вымерли многие группы микроскопических плавающих водорослей, включая большинство кокколитофорид. Эти одноклеточные организмы сферической формы вырабатывали из карбоната кальция шитоподобные структуры. В течение всего времени до начала кризиса этот карбонат кальция осаждался на дно с большой скоростью, образуя толстые слои осадков мела (примером являются белые утесы Дувра), из-за которых меловый период и получил свое название. После кризиса кокколитофориды уже не занимали заметного положения в фауне тропических морей. Планктонные фораминиферы также подверглись тяжелым испытаниям: выжили лишь глобигериниды, та самая группа, которая стала доминировать после эоценового кризиса и в настоящее время процветает в холодных морях.

Исчезновение в Тетисном морском бассейне рифостроящих рудистов (двустворчатых моллюсков, подобных кораллам, имевших конусообразную неравностороннюю раковину) было особенно драматичным. Существова-



МАССОВЫЕ ВЫМИРАНИЯ в ледниковую эпоху были ограничены районами, окаймляющими Северную Атлантику. Исчезло около 70% видов моллюсков в Западной Атлантике и Карибском море и около 30% видов в Средиземном и Северном морях. Во время похолоданий моллюски в этих бассейнах оказывались в ловушке, откуда было нелегко выбраться в более теплые моря. Напротив, тихоокеанские моллюски

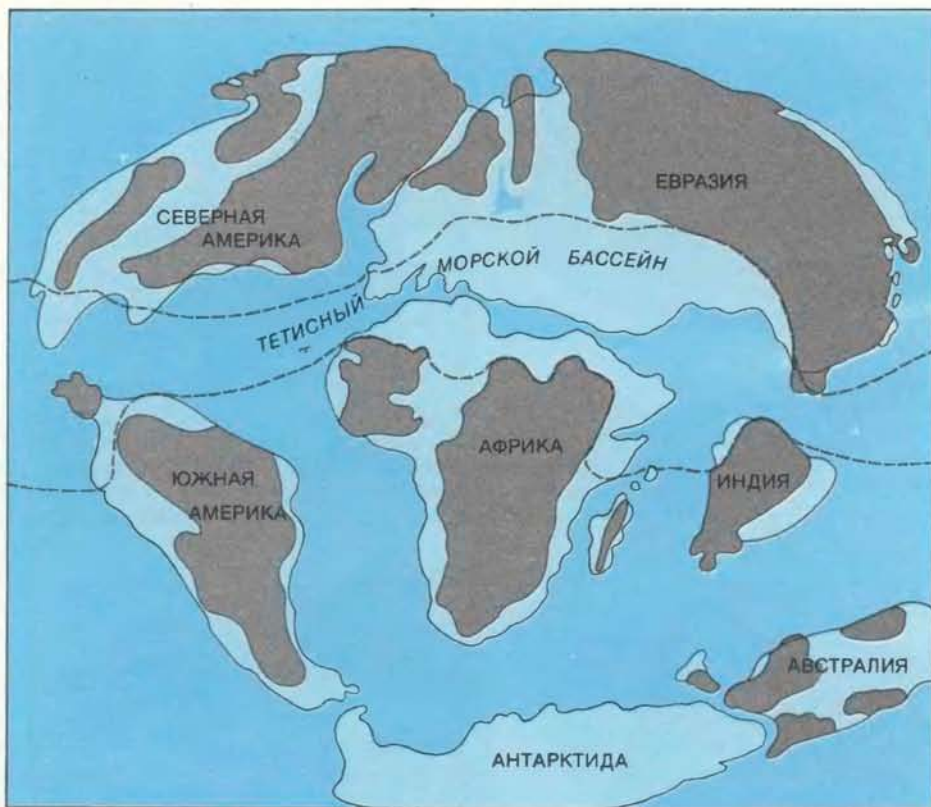
могли мигрировать в южном направлении по мере падения температуры воды и таким образом избежали массового вымирания. Положение теплого течения Гольфстрим, гораздо более южное по сравнению с современным, указывает на степень похолодания в Атлантике. Карта иллюстрирует последнее оледенение, произошедшее 18 тыс. лет назад.

ние этих животных в меловом периоде было настолько благополучным, что на тропических рифах они оттеснили кораллы на второй план. Если бы не внезапное вымирание, то именно рудисты, а не кораллы, несомненно, доминировали бы сейчас на рифах, которые усеивают современные мелководные тропические моря. В других местах со дна Тетиса исчезли многие группы двустворчатых и брюхоногих моллюсков, а также целые семейства придонных фораминифер. Наибольшее сожаление вызывает, если иметь в виду их необыкновенную красоту, полное вымирание аммоноидей — головоногих моллюсков, прятавших свое тело в спиральные раковины подобно их родственникам, ныне живущим перламутровым наutilusам. Аммоноидей — это одна из групп, исчезновение которой не отражает «тропическую направленность» поздне мелового кризиса: нетропические виды их погибли наряду с тропическими.*

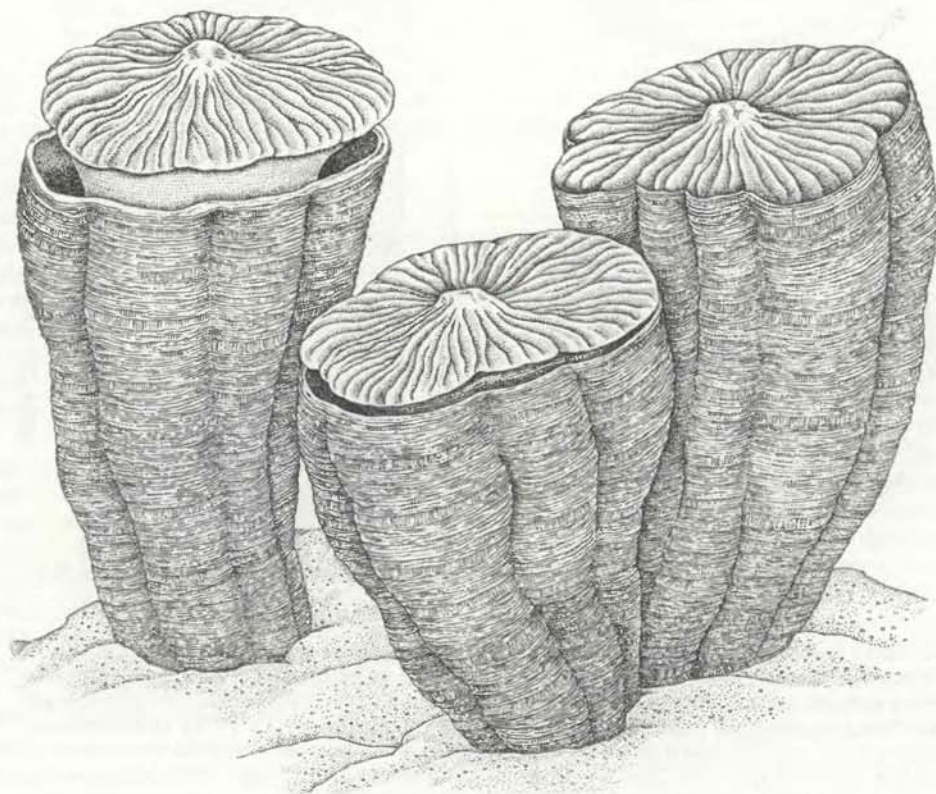
Эта «тропическая направленность» тем не менее представляет собой установленный факт. Ее реальность иллюстрируется той путаницей, которая существовала в определении возраста некоторых пород в высоких широтах. В течение многих лет некоторые палеонтологи относили породы датского яруса в Дании к меловым, так как те содержали комплекс меловой фауны. Сейчас большинство ученых полагает, что поздне меловой кризис в действительности предшествовал датскому веку. Однако его проявление в Дании было настолько слабым, что многие виды мелового периода продолжали существовать и в палеогене, первом периоде кайнозойской эры. (Кайнозой традиционно разделяют на третичный период, начавшийся 65 млн. лет назад, и четвертичный, начавшийся 2 млн. лет назад и продолжающийся в настоящее время. Многие палеонтологи, однако, предпочитают разделять кайнозой на более равновеликие части: палеоген, который окончился с эпохой олигоцена 26 млн. лет назад, и неоген.)

Точно так же формацию Каннонболл в Северной Дакоте относили к мелу, тогда как сейчас известно, что она относится к раннему палеогену. Хотя меловой кризис уничтожил большинство видов двустворчатых моллюсков в районе Мексиканского залива, располагающегося в тропиках, около 60% видов, найденных в формации Каннонболл, встречается и в меловых осадках, возраст которых на несколько миллионов лет больше. Соответствующая скорость вымирания оказывается такой же, как и в периоды между кризисами.

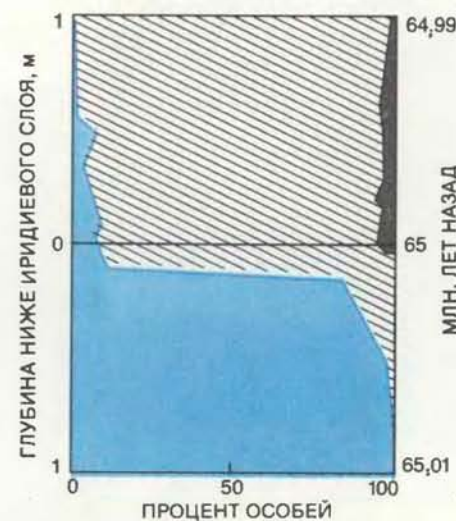
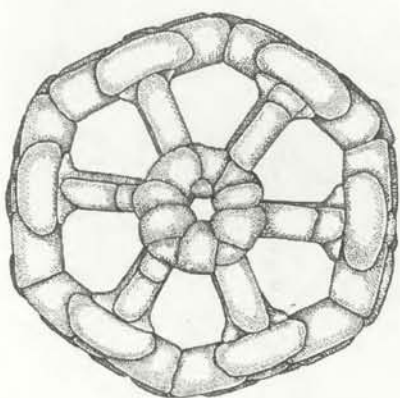
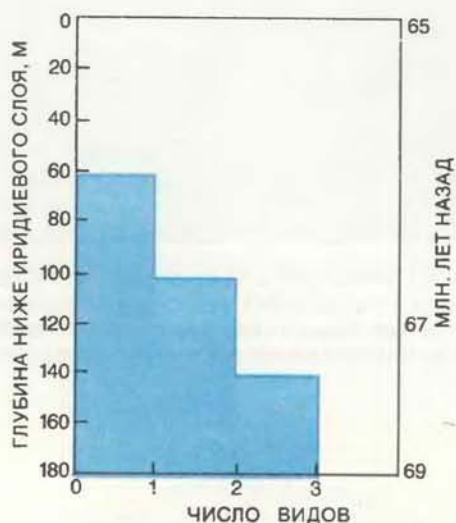
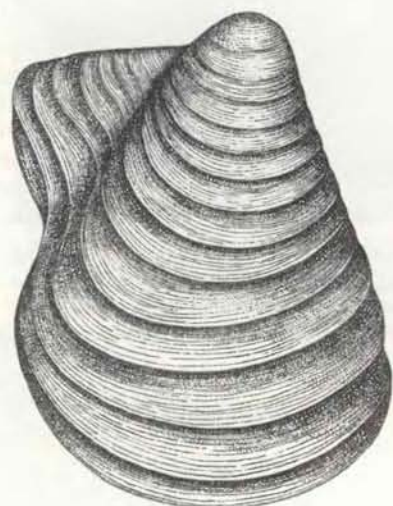
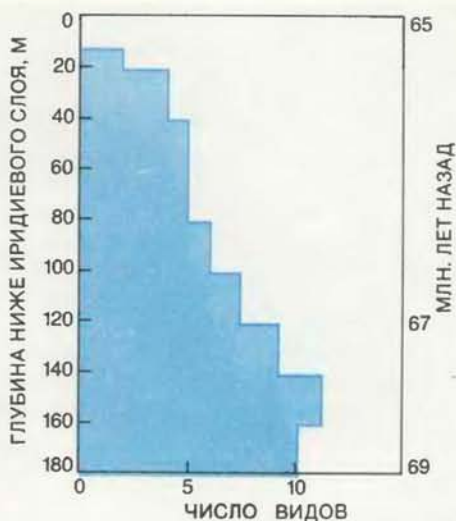
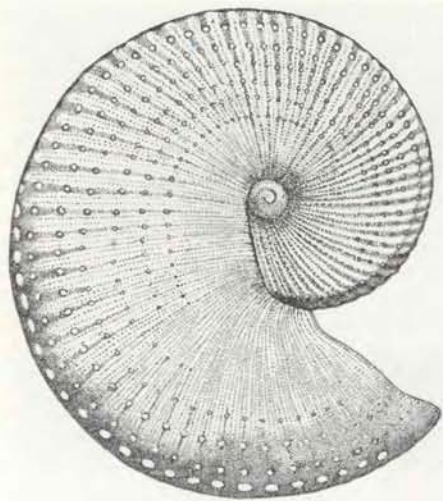
* См. статью П. Уорда «Почему вымерли аммониты?» — В мире науки, № 12, 1983. — Прим. ред.



ТРОПИЧЕСКИЙ ОКЕАНИЧЕСКИЙ ПОЯС, известный под названием Тетисного морского бассейна, пересекал обширные площади континентов в поздне меловой период. Виды Тетиса пострадали наиболее сильно в конце мелового периода. Пунктирная линия указывает границы между тропической и умеренными зонами.



РУДИСТЫ, двустворчатые моллюски, в меловой период заменили кораллы и заняли доминирующее место среди рифостроителей Тетиса. В конце периода они полностью вымерли. Численность рудистов начала уменьшаться на 2 млн. лет раньше; это означает, что их вымирание не было вызвано кратковременным событием, таким, как столкновение Земли с астероидом. Обычно рудисты были меньше 20 см в высоту, но иногда вырастали до метрового размера.



СЛЕДЫ ВЫМИРАНИЙ, обнаруженные в стратиграфических разрезах в Сумайе, в Испании, свидетельствуют как за, так и против астероидной гипотезы. Главным аргументом этой гипотезы является тонкий слой глины, обогащенной редким металлом иридием, на границе отложений мела и палеогена. Остатки таксономических групп, исчезнувших из-за столкновения с астероидом, должны располагаться вблизи слоя иридия. Однако, согласно результатам П. Уорда, разнообразие видов аммоноидей (*вверху*) и иноцерамов (*в середине*) уменьшалось постепенно; обе группы исчезли до образования иридиевого слоя и, следовательно, до предполагаемого столкновения с астероидом. С другой стороны, гибель некоторых видов кокколитофорид (*внизу*) и других видов планктона, содержащего карбонат кальция, была внезапной. Согласно данным С. Персиваля-младшего и А. Фишера, типичные меловые виды (*показано цветом*) уступили место конкурентам (*заштриховано*) и новым видам (*показано серым*) за время менее 10 тыс. лет примерно в период образования иридиевого слоя.

Мало того, что биоты Тетиса пострадали больше, чем нетропические биоты; наряду с этим биоты северных широт переместились в южном направлении, заняв место исчезнувшей тропической флоры и фауны. Тетисские брюхоногие моллюски, к примеру, были уничтожены во время массовых вымираний. Х. Кольман из Венского национального музея истории обнаружил, что в течение раннего палеогена большая область от Гренландии до Северной Африки оказалась занятой брюхоногими моллюсками, принадлежавшими к группе, которая в меловой период обитала только в северных морях.

Л. Хикли из Йельского университета, анализируя края ископаемых листьев, показал, что район, где сейчас располагается штат Вайоминг, подвергся похолоданию в переходное время между маастрихтом (последним веком мела) и палеоценом. Долгое время маастрихт считался самым холодным веком мела, но на территории Вайоминга флора раннего палеоцена существовала в условиях, когда среднегодовая температура была еще на 10°C ниже. Низкая температура держалась здесь, вероятно, на протяжении нескольких миллионов лет.

ТАКОВЫ вкратце доказательства того, что меловой кризис был связан с похолоданием климата. Рассмотрим теперь другие аспекты обсуждаемой проблемы. В последние несколько лет внимание публики было привлечено гипотезой Альваресов, согласно которой падение на Землю астероида диаметром около 10 км могло повлечь гибель как морских организмов, так и динозавров. Предполагается, что при падении астероида поднялось пылевое облако, которое успело окружить Землю до того, как пыль осела из атмосферы. Отправной точкой этого рассуждения было обнаружение в различных районах земного шара значительных концентраций иридия, сосредоточенного в тонком слое глины на границе отложений мела и палеогена. Иридий, металл платиновой группы, редко встречается на Земле, но обильно представлен в метеоритном веществе. Большинство метеоритов, как полагают, являются обломками астероидов.

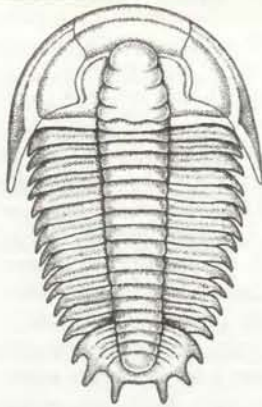
Как могло столкновение Земли с астероидом привести к вымиранию животных в океане? Рассматривались различные варианты, в том числе и резкое повышение или падение температуры. Альваресы предположили, что облако пыли могло погрузить земной шар в темноту на срок от трех до шести месяцев. В связи с этим фотосинтез должен был прекратиться и фитопланктон на поверхности океана погибнуть. Далее вымирания должны были передаваться по пищевой цепи, затрагивая все более крупные организмы.

Из гипотезы Альваресов вытекает утверждение, которое может быть проверено: если падение астероида привело к вымираниям в конце мела, то последние должны были произойти быстро, а в масштабе геологического времени практически мгновенно. Судя по последним данным, это было не так. Самые верхние слои меловых отложений в районе Стенвис Клинта в Дании приобрели известность, как явное доказательство внезапного вымирания. Последний из этих слоев, однако, представляет собой так называемую «поверхность несогласия». Здесь отложения, оставшиеся незахороненными в течение долгого времени из-за отсутствия осадков, сцементировались в плотную корку благодаря карбонату кальция, выпадавшему из морской воды. На весь период, в течение которого осадки не накапливались, палеонтологические «записи» прерываются. Поверхность несогласия в районе Стенвис Клинта означает, что в действительности осадки здесь не относятся к последним нескольким десяткам тысяч лет мела. А если это так, то они не могут быть использованы как доказательство того, что кризис в конце мела охватывал не более, чем несколько тысячелетий.

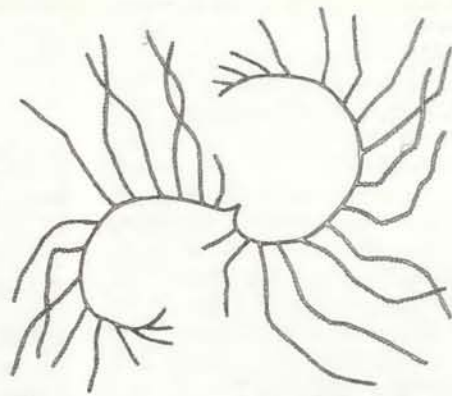
В Сумайе на северном побережье Испании обнаружен разрез, который представляется более непрерывным. Глубоководные морские осадки, поднятые здесь к поверхности в результате тектонических движений, относятся к промежутку времени между мелом и палеоценом и не обнаруживают разрывов в скорости накопления. Эти осадки, таким образом, дают возможность более точно описать историю некоторых значительных меловых вымираний. В пользу астероидной гипотезы свидетельствует вымирание кокколитофорид и подобного им планктона. Согласно данным С. Персивалья-младшего и А. Фишера из Принстонского университета, типичные меловые виды этого планктона исчезли в течение 10 тыс. лет или меньше непосредственно перед тем, как образовались слои, обогащенные иридием.

В противоположность этим данным, П. Уорд из Калифорнийского университета в Дейвисе и И. Вейдманн из Университета в Тюбингене показали, что богатая фауна аммоноидей в Сумайе исчезала постепенно на последнем этапе мела, а не вымерла внезапно в конце этого периода. Число видов аммоноидей сократилось от 10 до нуля за 2 млн. лет — промежуток времени, представленный 120-метровым слоем отложений. Остатки самых молодых аммоноидей обнаружены 12 метрами ниже иридиевого слоя, это значит, что они погибли за 100 тыс. лет до предполагаемого столкновения с астероидом.

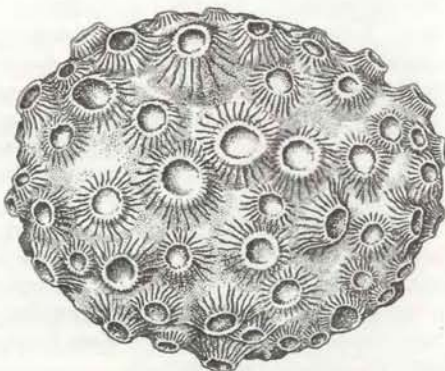
Уорд и Вейдманн выявили такое же



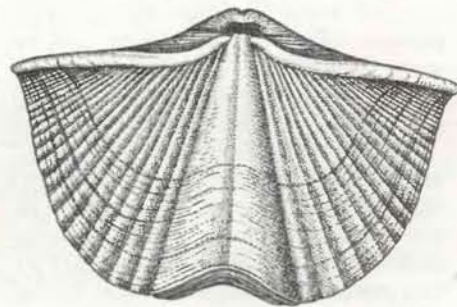
ФАУНА ТРИЛОБИТОВ в мелководных тропических морях периодически вымирала в кембрийском периоде, который начался около 570 млн. лет назад. В отличие от них виды, адаптировавшиеся к более холодным водам, выжили.



ГРАПТОЛИТЫ, плавающие организмы, жившие колониями, сильно пострадали в конце ордовика, когда льды распространялись от центра в Северной Африке. Каждый «зуб» на стебле содержал отдельную особь.



ТРОПИЧЕСКИЕ РИФОВЫЕ КОРАЛЛЫ И БРАХИОПОДЫ понесли основные потери в позднедевонском кризисе, около 370 млн. лет назад. Девонские кораллы (слева) так и не смогли в дальнейшем вернуть себе заметное положение среди рифостроителей. Брахиоподы (справа) были очень распространены в течение всего палеозоя. Многие семейства брахиопод, вымершие в позднем девоне, обитали, должно быть, в теплых водах; 90% из них не представлено в ископаемой фауне холодных вод, окружавших Южную Америку, которая в ту пору находилась вблизи Южного полюса.



постепенное уменьшение числа видов иноцерамов (группа двустворчатых моллюсков, вымершая в конце мела); последние иноцерамы располагаются в Сумайе 60 метрами ниже иридиевого слоя, что соответствует разнице возрастов в 1 млн. лет. Эти результаты подкрепляются глобальными исследованиями иноцерамов, выполненными А. Донд из Королевского института естественных наук в Бельгии, которая также показала, что количество этих двустворчатых моллюсков уменьшилось в течение маастрихта. Подобным же образом, согласно данным Э. Кауфмана из Колорадского университета в Боулдере, рудисты (которые строили рифы в мелководных тропических морях и поэтому отсутствуют в глубоководных отложениях в Сумайе) были уничтожены в среднем маастрихте, вероятно за 2 млн. лет до образования иридиевого слоя. В породах позднего маастрихта ископаемые остатки сообщества рудистов истощены и уже не образуют большие рифы.

СУММИРУЯ сказанное, можно заключить, что меловой кризис не был единичным кратковременным событием. Различные группы организмов постепенно приходили в упадок и исчезали в различные времена на протяжении по крайней мере двух миллионов лет. Последовательность исчезновений различных групп также имеет важное значение, так как не соответствует гипотезе Альваресов, согласно которой вымирания могли начаться с нижнего звена пищевой цепи и далее распространяться по цепи вверх, подобно тому как падают поставленные друг за другом костяшки домино. На самом деле низший планктон пострадал в самом конце мелового кризиса, после того как пришли в упадок многие группы моллюсков, питавшихся планктоном, и полностью исчезли хищные аммоноидеи.

В последнее время некоторыми исследователями были предложены варианты гипотезы Альваресов, которые могли бы объяснить тот факт, что

меловые вымирания не были мгновенными событиями. Эти новые гипотезы, пока еще довольно умозрительные, призваны обосновать выводы Д. Раупа и Дж. Сепкоски из Чикагского университета, которые полагают, основываясь на статистическом анализе исчезновений более 500 морских семейств, что массовые вымирания в последние 250 млн. лет имели циклический характер и повторялись каждые 26 млн. лет. Согласно одной из новых гипотез, небольшая звезда обращается вокруг Солнца по вытянутой орбите. Приближаясь достаточно близко к Солнцу каждые 26 млн. лет, она должна возмущать орбиты комет, и поэтому в течение некоторого периода отдельные кометы должны сталкиваться с Землей, приводя к массовым вымираниям. Ряд ученых пытается найти такую звезду-спутник, другие исследуют кратеры на Земле, которые могли бы образоваться при падении комет, и пытаются установить, следует ли возраст кратеров той же цикличности, с которой происходили массовые вымирания.

Сам вывод о цикличности вымираний с периодом 26 млн. лет нуждается в дальнейшей проверке. Начать с того, что последний пик в цикле, происходящий на время около 13 млн. лет назад, исключительно мал и мог бы, вероятно, остаться незамеченным, будь он древнее. В более отдаленные времена могло быть достаточно много таких событий, не проявляющихся в палеонтологических «записях» и не соответствующих упомянутой цикличности. Кроме того, пики «старше» 90 млн. лет из тех, что обнаружили Рауп и Сепкоски, не очень хорошо соответствуют циклу. Возможно, что распределение этих пиков во времени просто ближе к цикличному с периодом в 26 млн. лет, чем к случайному.

Такое предположение не требует привлечения взвешенных причин. «Квазицикличность» могла возникнуть, если каждое массовое вымирание происходило с некоторой задержкой по отношению к предыдущему. Изменение факторов окружающей среды, вызывавшее кризис, могло сохраняться в течение нескольких миллионов лет, препятствуя восстановлению биоты, которое должно предшествовать следующей вспышке вымираний. Даже если бы окружающие условия улучшались, опустошенным биотам требовались бы миллионы лет для того, чтобы восстановить видовое разнообразие, при котором существуют особенно уязвимые виды. После мелового кризиса, например, и подобных крупных массовых вымираний в поздней перми морские биоты оставались истощенными в течение нескольких миллионов лет.

СУЩЕСТВУЕТ или нет цикличность в колебании вымираний, но что касается связи кризисов (включая те, что

произошли еще до мелового периода) с климатическими похолоданиями, то здесь доказательств достаточно много. Первое из известных событий такого рода случилось около 650 млн. лет назад в позднем докембрии, когда жизнь была еще довольно редким явлением. В то время, согласно Г. Видалю из Лундского университета и Э. Ноллу из Гарвардского университета, в океане была уничтожена популяция акритарх — одноклеточных представителей фитопланктона, которые, вероятно, были первыми организмами, имевшими клетку с ядром. Массовое исчезновение акритарх, которые позднее возродились и стали самой многочисленной группой фитопланктона, представленного в палеозойских породах, приходится на время, когда льды покрывали огромные площади поверхности Земли. Свидетельствами ледниковой активности для того времени служат формации гравия, содержащие крупные валуны, которые могли быть отложены только ледниками; об этом говорят и царапины, оставленные валунами на более древних подстилающих породах, когда эти валуны двигались вместе со льдом. Такого рода свидетельства были найдены на всех континентах, исключая Антарктиду (большая площадь которой сейчас покрыта льдом). Это наводит на мысль, что похолодание климата в докембрии было действительно глобальным.

В течение следующего периода, кембрия, в море широко распространились беспозвоночные. Первыми доминирующими беспозвоночными были представители членистоногих — трилобиты, сегментированное тело которых было разделено на три доли — центральную и две боковые ("lobus" — по-латыни "доля". — *Перев.*). Возникшие приблизительно 530 млн. лет назад трилобиты пережили ряд массовых вымираний, причем вымирания, документированные лучше всего, коснулись фауны, занимавшей дно тропических морей на территории Северной Америки. А. Палмер из Геологического общества США нашел свидетельства трех кризисов, разделенных интервалами длительностью от 5 до 7,5 млн. лет. Исходя из мощности осадков, отложившихся во время одного из этих событий, Палмер заключил, что продолжительность этого события составляла в лучшем случае от 4000 до 6000 лет. Таким образом, короткие вспышки вымираний, вероятно, чередовались с продолжительными интервалами, в течение которых трилобиты вновь возрождались, так что до начала следующего кризиса успевало возникнуть много новых видов. В каждом случае новая фауна эволюционировала от одной группы предков — оленидных трилобитов, чьи остатки найдены в осадках холодных глубоководных районов. Периодичность вымираний лег-

ко объясняется похолоданиями климата: кратковременное похолодание опустошало тропическую фауну мелководья, в то же время приспособившиеся к холоду олениды «пережидали за кулисами», в отдалении от берега, а затем захватывали пустынное мелководье и давали начало новым видам трилобитов, которые постепенно адаптировались к восстанавливающимся тропическим условиям.

Трилобиты стали также жертвой массового вымирания в конце ордовика, около 440 млн. лет назад. Во время глобального кризиса в ордовике вымерло около 100 семейств морских животных, опять-таки преимущественно тропических. Особенно показателен пример с граптолитами.

Граптолиты образовывали необычную группу. Они жили плавучей колонией, прикреплялись друг к другу стебельками и питались в основном планктоном или другими мелкими частичками пищи. Ископаемые остатки вдоль побережья Северной Атлантики показывают, что за несколько миллионов лет до конца ордовика различные виды граптолитов образовывали отдельные экологические пояса, параллельные экватору. В конце этого периода, когда началось вымирание, пояса соединились в единую биогеографическую область в экваториальной зоне. В это же время ледниковая активность, начавшаяся несколько раньше, достигла своего пика, причем лед распространился от центра в Северной Африке. Географическое перераспределение граптолитов указывает на то, что их вымирание было связано с похолоданием в области их обитания.

ТРОПИЧЕСКИЕ виды пострадали особенно сильно и во время кризиса в конце девонского периода, около 370 млн. лет назад. Прimitивные кораллы и губки, строители известковых рифов, пережили вымирание, от которого они уже не оправались; одновременно исчезли и многие другие тропические морские группы. Напротив, группы животных, обитавших близко к Южному полюсу, процветали, как это показано в работе П. Коппера из Университета св. Лаврентия в Онтарио. В девоне Южная Америка располагалась вблизи Южного полюса, и ее необычная фауна, в которой отсутствовали рифостроители и другие теплолюбивые виды, понесла незначительные потери. Брахиоподы (двустворчатые моллюски, называемые также «ламповыми моллюсками»), найденные как в тропических, так и в умеренных морях, в целом пострадали сильно, но отнюдь не случайным образом: 90% вымерших семейств брахиопод не имело представителей в холодных водах, окружающих Южную Америку.

Изучая ископаемую фауну вблизи Нью-Йорка (в позднем девоне этот рай-

он лежал около экватора), Дж. Макги-младший из Университета Ратджерса обнаружил, что здесь кризис продолжался около 7 млн. лет. Макги сообщил также о другом интересном открытии: в то время как другие группы животных вымерли, число видов стеклянных губок возросло. После того как кризис миновал и другие группы животных восстановились, количество видов стеклянных губок вновь сократилось. Значение этого открытия становится понятным, если учесть, что в настоящее время стеклянные губки приспособлены к обитанию в холодной воде. Их процветание во время позднедевонского кризиса является косвенным доказательством того, что их менее удачливые соперники не вынесли похолодания климата.

Связь между похолоданиями и морскими кризисами в позднем палеозое и раннем мезозое не так очевидна. Затяжная ледниковая эпоха в пенсильвании* и в ранней перми, по-видимому, не была причиной обширного вымирания. Имеются доказательства того, что тропическая растительность вблизи экватора продолжала в то время процветать, и этот факт наводит на мысль, что похолодание было ограничено областью высоких широт. Виды из этой области, вероятно, нашли убежище в тропиках.

Массовое вымирание отметило и конец пермского периода, но картина этого события довольно сложна. Холодолобивые полярные морские животные вымерли первыми, не выдержав, по-видимому, распространяющегося от низких широт тепла: в Южном полушарии по крайней мере это вымирание совпало с уменьшением объема полярных льдов и миграцией теплолюбивых наземных растений к полюсу. Напротив, вымирания, которые позднее, приблизительно в конце перми, коснулись тропиков, вероятно, сопровождалось обширным похолоданием, хотя имеющиеся свидетельства похолодания носят локальный характер. В северной части СССР разрезы верхнепермских отложений содержат грубые обломки (подобные тем, что выпадают при таянии морского льда), залегающие на известняках, которые обычно формируются в теплых водах. Изучение разреза позволяет предположить, что в описываемое время происходило распространение морского льда. В то же время в Северном полушарии многие морские виды, дожившие до триаса (первого периода мезозоя), были способны выдержать значительные колебания температуры. Многие из амmonoидей раннего мезозоя, например,

жили как в Тетисе, так и в холодных регионах. К ним относятся конодонты — группа плававших животных, напоминавших по виду угрей, которые, очевидно, пережили позднепермский кризис без больших потерь.

Данные о массовых вымираниях в конце триаса и юры все еще весьма скудны. Вероятно, во время триасового кризиса исчезли тропические рифовые кораллы в Южной Европе. В то же время находки ископаемых растений позволяют предположить, что сильное похолодание в Европе и Северной Азии сопровождало юрское вымирание. Необходимо, однако, собрать дополнительные доказательства такого рода, прежде чем говорить о совпадении вымираний с похолоданиями климата.

САМЫЕ древние виды животных, встречающихся в наше время в океане, — это те, что распространены в холодных водах. Многие характерные арктические виды, такие, как брахиоподы, морские звезды и питающиеся осадками двустворчатые моллюски, принадлежат к отрядам, которые существуют сотни миллионов лет и уходят корнями в палеозой. Напротив, тропическая фауна (такая, как рифовые сообщества), периодически испытывавшая массовые вымирания, возникала и исчезала довольно быстро в геологическом масштабе времени. Коралло-губковое рифовое сообщество, уничтоженное во время девонского кризиса, уступило место менее эффективному сообществу рифостроителей, которое включало мшанок, брахиопод, известковых губок и водоросли; после упадка в конце перми это сообщество заменилось кораллами, сходными с ныне существующими. В позднем мелу кораллы, вероятно, были вытеснены рудитами, и только уничтожение рудитов во время позднемелового кризиса позволило кораллам вновь занять ведущее место среди рифостроителей. Тропические виды, приспособленные к обитанию в узком температурном диапазоне и не находившие убежища во время похолоданий, в наибольшей степени страдали от изменений климата.

Часто утверждалось, что тропические виды в целом менее способны переносить изменения окружающей среды. Если бы это было так, то значительные изменения лимитирующих факторов, иных, чем температура, также могли быть причиной «тропической направленности» массовых вымираний. К счастью для гипотезы похолодания, не существует доказательств того, что большинство морских тропических видов менее приспособлены к изменениям факторов окружающей среды (исключая температуру), чем виды умеренных широт. Иллюстрацией могут служить требования к пище. Большинство немикроскопических морских видов травоядны, причем оказы-

вается, что на всех широтах больше распространены виды с широким, нежели с узким пищевым спектром; эти виды потребляют различные водоросли, бактерии и мельчайшие растительные остатки.

Отыскивая связь между изменениями климата и морскими кризисами, я сознательно обходился одним очевидным вопросом: что вызывало похолодания, которые приводили к массовым вымираниям? Делались попытки отыскать причины периодических продвижений льдов от полюсов в последние несколько миллионов лет; эти оледенения могут объясняться, например, вариациями орбиты Земли. Экваториальные похолодания, сопровождавшие наиболее ранние морские кризисы, могли возникать вследствие уменьшения потока солнечной радиации (изменения солнечной постоянной), но здесь могли быть замешаны и другие факторы. Несмотря на то что продолжающиеся исследования ископаемых остатков должны принести новые доказательства связи между похолоданиями и вымираниями в море, мы, возможно, так никогда и не узнаем, в чем же состояли причины изменений климата миллионы и сотни миллионов лет назад.

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 4р.



* Деление каменноугольного периода (карбона) на пенсильваний и миссисипий, как это сделано в настоящей статье (см. также рисунок на с. 28), не является общепринятым. — Прим. перев.

Грудное вскармливание

Противозачаточный эффект кормления грудью
все больше забывается из-за того,
что растет популярность искусственного вскармливания,
которое в конечном итоге ведет к увеличению
уровня рождаемости и к ухудшению здоровья
детей младшего возраста

Р. В. ШОРТ

КОРМЛЕНИЕ грудью — это естественное противозачаточное средство. С давних времен было известно, что вероятность зачатия для кормящей женщины мала. Теперь же это, как правило, не принимается в расчет. Такое отношение к кормлению грудью серьезно повлияло на прирост населения и на состояние здоровья детей младшего возраста, особенно во многих развивающихся странах.

В развитых странах на необходимость кормить дитя грудью смотрят обычно как на некую необязательную дополнительную функцию или как на нечто, подобное кредитам под кинофильм, имеющий значение лишь для немногих, но не вызывающий всеобщего интереса. Медики обращают на эту проблему очень мало внимания. И ни одна из медицинских наук ею не занимается. Врач-акушер считает свои обязанности оконченными после рождения ребенка и после того, как мать выписывают из больницы; гинеколог рассматривает грудь лишь как неотъемлемую часть репродуктивной системы; педиатра обычно больше волнует наблюдение за больным младенцем, чем налаживание его кормления грудью в домашних условиях, и очень немногие врачи, занимающиеся вопросами рождаемости, рекомендуют иметь в виду противозачаточный эффект грудного вскармливания.

В результате единственный, кого можно считать специалистом по молочной железе, — это хирург, так как рак груди — наиболее распространенная злокачественная опухоль у женщин. Некоторые хирурги даже рекомендуют удаление молочных желез с последующей заменой их силиконовыми протезами как средство предупреждения рака. Вопросу кормления грудью уделяется мало внимания и в программах учебных медицинских заведений — неудивительно, что он не вызывает большого интереса у исследователей. Люди больше знают о коровьем вымени, чем о женской груди.

То, что до сих пор в развитых стра-

нах врачи, ученые, представители власти, религиозные и политические деятели не оценили по достоинству проблемы грудного вскармливания и не выработали соответствующих мер по планированию рождаемости и обеспечению здоровья детей младшего возраста, имело серьезные последствия для развивающихся стран. По последним данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), в развивающихся странах только 17% супружеских пар пользуются современными противозачаточными средствами. Стало быть, 83% находятся в полной зависимости от естественных мер предохранения от беременности, среди которых наиболее важным фактором является грудное вскармливание.

Последнее исследование проблемы рождаемости, организованное Международным статистическим институтом, находящимся в Лондоне, показало, что в настоящее время во многих развивающихся странах те молодые женщины, которые живут в городе, получили образование и материально обеспечены, предпочитают кормить ребенка из бутылочки, а не грудью. Так как именно они создают общественное мнение, вслед за ними так поступают и женщины из менее обеспеченных городских слоев, которые вряд ли пользуются современными противозачаточными средствами и для детей которых молоко матери — основной источник питательных веществ.

Р. Лестхэдж (Свободный университет, Брюссель) подсчитал, что в Бангладеш, где в настоящее время только 9% женщин пользуются противозачаточными средствами и где у женщин лактационная аменоррея (отсутствие менструации во время кормления грудью) длится в среднем 18,5 месяца, для сохранения рождаемости на прежнем уровне в случае сокращения периода лактационной аменорреи до 6 месяцев количество женщин, применяющих противозачаточные средства, должно увеличиться до 43%. Тот факт, что в Кении, где только 7% женщин приме-

няют противозачаточные средства, за последнее время рождаемость резко возросла и достигает сейчас восьми родов на одну женщину, можно непосредственно объяснить сокращением периода кормления.

Было бы неправильно возлагать всю вину на изготовителей порошкового молока за то, что женщины не хотят кормить детей грудью; ведь эта тенденция возникла сотни лет назад. Однако производство искусственного молока закрепляет и усиливает ее, так что фирмы-изготовители в общем-то причиняют ущерб здоровью матерей и их детей и все-таки должны нести за это ответственность. Тот факт, что именно США, где много предприятий по изготовлению порошкового молока, — единственные из всех стран — в 1981 г. отказались подчиняться рекомендациям ВОЗ о торговле заменителями женского молока, согласно которым следует ограничить активную рекламу и продажу порошкового и сгущенного молока, говорит сам за себя.

ЧТОБЫ понять важную роль грудного вскармливания в репродукции человека, рассмотрим эту проблему с точки зрения его эволюции. Один из секретов успеха *Homo sapiens* как вида — замедление темпов воспроизводства. Оно сложилось в результате того, что половая зрелость наступает не ранее чем во втором десятилетии жизни (что уникально среди млекопитающих), а интервал между родами удлинился благодаря противозачаточному эффекту кормления грудью.

Эти репродуктивные особенности открыли новые горизонты для эволюции человека. Объем мозга у новорожденного ограничивается тем, что роды осуществляются через относительно узкий тазовый канал, поэтому развитие мозга продолжается после рождения, что на довольно длительный срок ставит ребенка в полную зависимость от матери. Сравнительно позднее наступление половой зрелости удлиняет детство, благодаря чему родители по-

лучают возможность передать ребенку все богатство накопленных знаний. Именно способность к передаче такой информации наряду с генетической возвысила вид *Homo sapiens* над другими млекопитающими.

Полезно вспомнить, в каких условиях среды сложились репродуктивные особенности человека. На протяжении девяти десятых своей истории люди вели кочевой образ жизни охотников-собирателей. Хотя ныне все иначе, генетически человек все еще остается «охотником-собирателем»: цивилизация наступила не так давно, чтобы ощутимо повлиять на его генотип.

Наилучшее представление об этом исчезнувшем образе жизни дает изучение немногих оставшихся племен охотников-собирателей в Африке, Австралии, Новой Гвинее и Южной Америке. Больше всего известно о племени кунг из пустыни Калахари (Южная Африка). Его изучали Р. Боршай Ли (Университет в Торонто) и И. Деворз со своими учениками (Гарвардский университет). Н. Хоулз из Университета в Торонто сообщила, что люди кунг, которые не применяют современных противозачаточных средств и никак не регулируют рождаемость (у них нет ни поздних браков, ни запрета на половые сношения в период кормления, ни абортотв, ни убийства новорожденных), имеют в семье в среднем по 4,7 ребенка, а средний перерыв между родами составляет 4,1 года. Если учесть смертность, получается, что для увеличения численности населения племени кунг вдвое потребуется около 300 лет.

О том, что длительные перерывы между родами являются результатом кормления грудью, свидетельствует тот факт, что, когда ребенок умирает и лактация прекращается, у матери вскоре снова наступает беременность. Исследования М. Коннера (Гарвардский университет) и других показали, что в период кормления ребенок почти все время находится с матерью: куда бы мать ни шла, она всюду носит его с собой, а ночью они спят рядом. В течение дня ребенок сосет грудь весьма часто (примерно 4 раза в час), хотя каждое кормление длится всего 1–2 мин. Ночью ребенок также часто сосет, даже когда мать спит. Если бы женщина рожала чаще чем раз в 4 года, свобода ее передвижений была бы существенно стеснена и кочевой образ жизни стал бы невозможен.

Такая частота кормлений на первый взгляд кажется ненормальной, однако есть основания считать, что для человека это и есть норма. Обнаружено, что сходный ритм кормлений имеет место у охотников-собирателей в Папуа (Новая Гвинея). Кроме того, частое кормление находится в соответствии с биохимическим составом человеческого молока, в котором сравнитель-

но мало жира, белка и сухого вещества. Виды млекопитающих, кормящие своих детенышей реже (коровы, овцы, козы, олени, кролики), имеют более питательное молоко. Ближайшие родственники *Homo sapiens* — шимпанзе и горилла — также кормят своих детенышей несколько раз в час, когда живут на свободе; их молоко очень похоже на человеческое, самки спят ночью вместе с детенышем, который лежит у груди, и рожают раз в 4–5 лет.

МЕХАНИЗМ, посредством которого кормление подавляет фертильность, полностью еще не известен, но несомненно, что основную роль играет именно процесс кормления, а не секреция молока. В результате исследований животных (овец и кенгуру) стало ясно, что если денервировать сосок хирургическим путем, то лактация продолжается нормально, но противозачаточный эффект кормления исчезает.

Мои коллеги и я показали, что у женщин к моменту рождения ребенка чувствительность соска заметно увеличивается. Это явление, возможно, имеет значение для усиления подачи тормозных импульсов в мозг. Установлено, что акт кормления грудью вызывает рефлекторное выделение окситоцина — гормона задней доли гипофиза; это приводит к сокращению эпителиальных клеток, окружающих дольки молочной железы, и истечению молока из груди. Кормление стимулирует также секрецию пролактина — гормона передней доли гипофиза; полагают, что пролактин важен для поддержания лактации в течение длительного времени. Окситоцин обеспечивает, так сказать, питание на сегодня, а пролактин — на завтра. Чем чаще кормление, тем выше уровень пролактина.

У женщин, имеющих опухоли гипо-

физа, секретирующие пролактин, обычно не происходит овуляции и менструаций. В этих случаях секреция лютеинизирующего гормона (ЛГ-гормон передней доли гипофиза, вызывающий овуляцию) угнетена. Если такую опухоль удаляют хирургически или выделение пролактина ингибируют препаратом бромокриптином, то выделение лютеинизирующего гормона скоро возвращается к норме и возобновляется нормальный овуляторный менструальный цикл.

Такая последовательность явлений легла в основу распространенного представления о том, что вследствие высокого уровня пролактина во время лактации ингибируются секреция лютеинизирующего гормона и функция яичников, т.е. подавляется овуляция. Эта точка зрения не бесспорна. Так, известно, что у самок макака-резуса, у которых выделение пролактина угнетено бромокриптином, не происходит овуляции, если детеныш продолжает сосать грудь. У женщин с аменореей, вызванной избытком пролактина, при лечении налаксомом возобновляется нормальная секреция лютеинизирующего гормона, хотя уровень пролактина у них остается высоким.

Для объяснения противозачаточного эффекта кормления грудью более привлекательна следующая гипотеза. По-видимому, нервные импульсы от соска поступают в гипоталамус, где стимулируют образование и высвобождение β -эндорфина, который, как считается, тормозит секрецию гормона, являющегося либерином для гонадотропина. Вследствие этого понижается уровень лютеинизирующего гормона и овуляция делается невозможной.

Те же импульсы от соска ингибируют и выделение дофамина из гипоталамуса, а поскольку дофамин в норме

а РЕБЕНКА КОРМЯТ ТОЛЬКО ГРУДЬЮ



б КОРМЛЕНИЕ ГРУДЬЮ И РАННИЙ ПЕРЕВОД НА ИСКУССТВЕННОЕ ВСКАРМЛИВАНИЕ



в ИСКУССТВЕННОЕ ВСКАРМЛИВАНИЕ



0 4 8 12 16 20 24 28
ВРЕМЯ, ЛЕТ

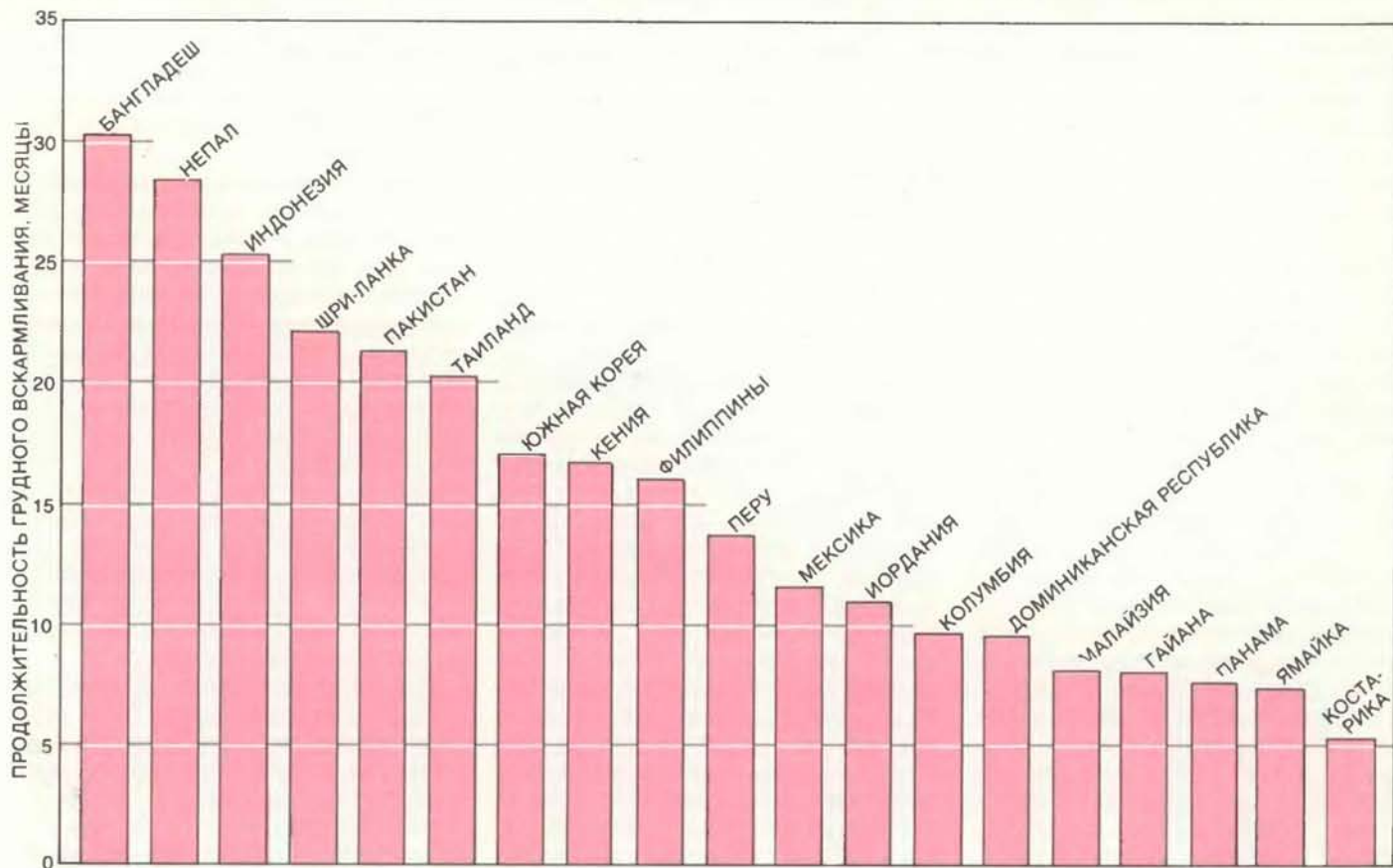
ИНТЕРВАЛЫ МЕЖДУ РОДАМИ для трех типов кормления грудью без применения противозачаточных средств. В одном из африканских племен охотников-собирателей (кунг) матери кормят своих детей грудью до 3–4 лет и притом часто; интервал между родами у них в среднем составляет 4,1 года, и каждая женщина рождает в среднем 4,7 живых детей (а). У духоборов, живущих в Северной Америке (б), женщины кормят по строгому расписанию, начиная прикармливать ребенка через несколько месяцев после его рождения, и отнимают от груди через год; средний интервал между родами у них 2 года, и у каждой женщины в среднем рождается 10,6 живых детей. В Великобритании женщины, которые никогда не кормили грудью, а лактацию после родов подавляли стильбестролом или этинилэстрадиолом, рожают в среднем раз в 1,3 года (с).

тормозит уровень пролактина, то секреция последнего резко усиливается. Уровень пролактина — важный показатель степени заторможенности гипоталамуса, вызванной кормлением, но может быть, что он и не связан с причиной торможения овуляции.

ПОСКОЛЬКУ раздражение соска при кормлении является, судя по всему, основным фактором в противозачаточном эффекте, необходимо подробно исследовать процесс кормления, чтобы понять, что же происходит.

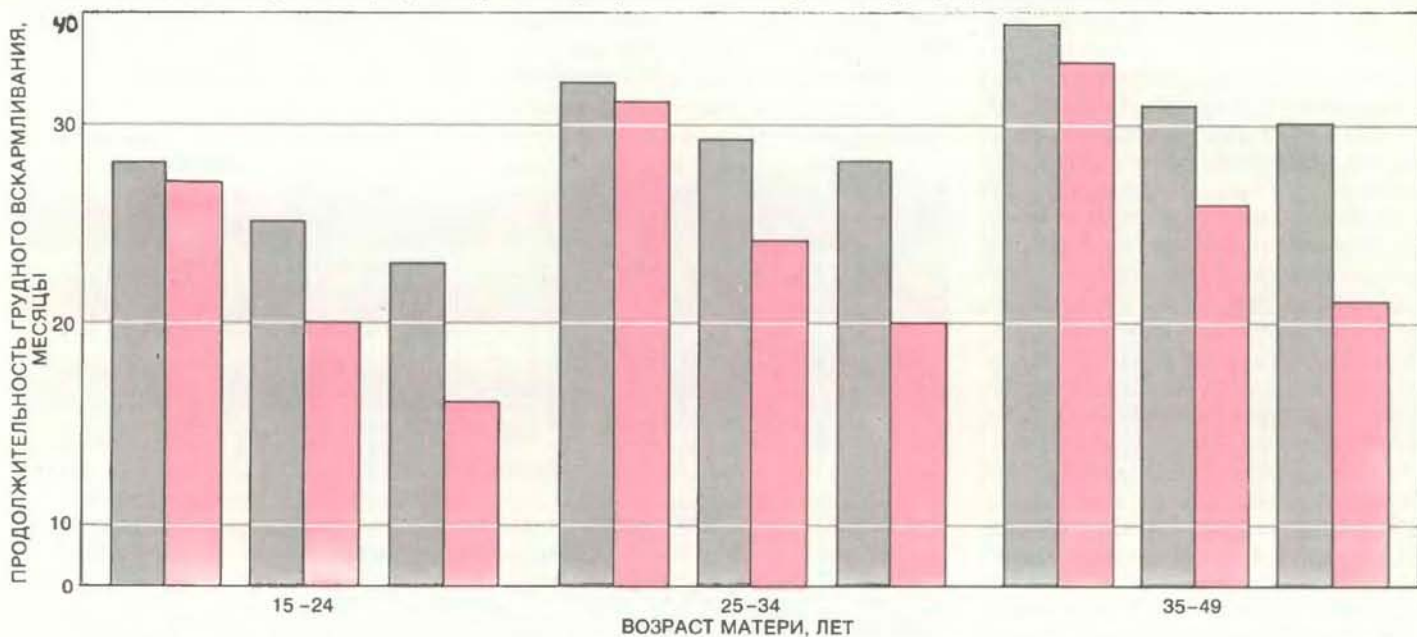
П. Хоуви и А. Мак-Нейли (ранее со-

трудники Эдинбургского отделения Совета медицинских исследований и мои коллеги) провели обследование 27 шотландских женщин, кормивших грудью во время лактационного периода. Они определяли активность яичников, измеряя уровень эстрогена и прегнандио-



ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ КОРМЛЕНИЯ ГРУДЬЮ в развивающихся странах сильно варьирует. На гистограмме каждая страна занимает положение по среднему значению этой величины. В общем молодые матери (от 15 до 24 лет) кормили

грудью меньше, чем женщины 25—34 и 35—39 лет. Данные были собраны в 1980 г. во время международного исследования, проводившегося под руководством Лондонского института международной статистики.



В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ И В ГОРОДАХ Бангладеш продолжительность кормления грудью различна. (Серые столбики — данные для женщин из сельской местности, цветные — для городских.) В каждой серии из трех пар столбиков для одной возрастной группы левая пара отражает данные для женщин без всякого образования, средняя — для жен-

щин с начальным школьным образованием, а правая — для женщин, которые закончили среднюю школу. В ряде развивающихся стран молодые образованные женщины, живущие в городе, склонны вообще не кормить грудью или сократить период кормления до минимума.

ла в моче, и тщательно фиксировали время и длительность каждого кормления. Для контроля велось наблюдение и за 10 женщинами, которые решили кормить детей искусственно сразу после рождения. Были получены очень интересные данные. У женщин, не кормивших детей грудью, менструации начались в среднем через 8 недель после родов, а овуляции — через 11 недель. А у матерей, кормивших своих малышей грудью, менструации начались в среднем через 33 недели после родов, овуляции — через 36 недель. Ни у одной из женщин не происходило овуляций, если она кормила только грудью (без каких-либо добавок) шесть или более раз в день и в общей сложности не менее 60 мин в день. Когда данные сгруппировали в зависимости от того, поздно (более 40 недель после родов) или рано (менее 30 недель) у них начались овуляции, оказалось, что женщины первой группы кормили дольше (средняя длительность лактационного периода 53 недели) и чаще, ночью кормления были более длительными, а прикорм малышам они давали понемногу и вводили его в рацион постепенно. Как только ребенок начинал получать прикорм, примерно через 16 недель после родов, резко уменьшалась частота кормлений и понижался уровень пролактина в крови. В следующие 16 недель, в течение которых ребенка прикармливали, у 20 из 27 женщин начали развиваться в яичниках фолликулы, а у 14 из них произошли овуляции.

Дж. Браун (Мельбурнский университет) провел большое исследование среди 55 женщин, кормивших грудью. По сравнению с женщинами, обследованными Хоуви и Мак-Нейли, они кормили дольше. Брауну не удалось подробно изучить эффекты сосания, но, объединив результаты наблюдений, проведенных в Эдинбурге и в Мельбурне, можно сделать некоторые общие замечания относительно возобновления способности к зачатию после рождения ребенка.

У подавляющего большинства женщин во время кормления грудью яичники неактивны почти весь период лактационной аменореи. С течением времени после родов, по мере того как постепенно в рационе ребенка увеличивается прикорм, частота и длительность кормлений грудью уменьшаются, а цикл активности яичников возобновляется, т.е. у женщин начинаются овуляции и менструации, еще когда они кормят грудью. Последнее обстоятельство и породило широко укоренившееся представление о том, что кормление грудью весьма ненадежно как противозачаточная мера.

В исследованиях, проведенных в Мельбурне и Эдинбурге, были проанализированы явления, происходящие в эндокринной системе перед первой после родов менструацией. В 58% случаев

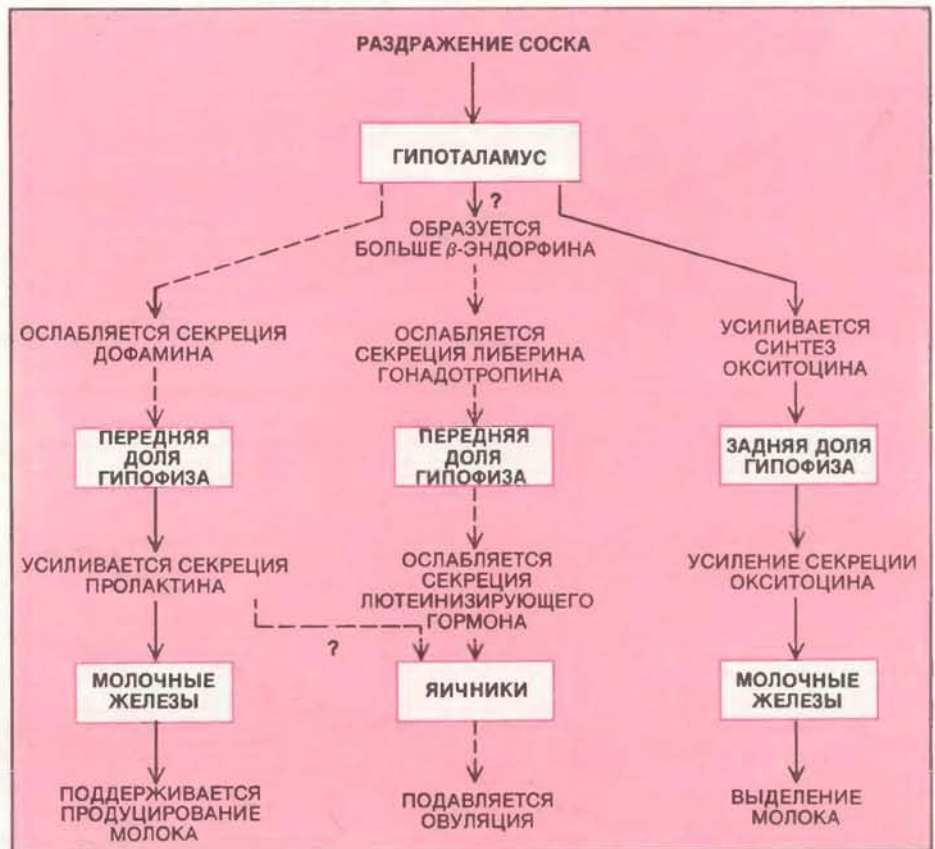
овуляции не происходило до тех пор, пока не начиналась менструация. Вероятно, первая послеродовая менструация — результат дегенераций развивающегося в яичнике фолликула, что вызывает исчезновение эстрогена. В тех случаях, когда овуляция все же предшествовала менструации, за ней обычно следовала короткая или недостаточная лютеальная фаза (фаза желтого тела) цикла. По-видимому, маловероятно, что желтое тело в яичнике у этих женщин сохранило бы беременность, даже если бы яйцо и было оплодотворено. В исследовании, проведенном в Мельбурне, только в 19% случаев наблюдался нормальный овуляционный цикл до первой после рождения ребенка менструации.

Поскольку максимальная вероятность зачатия при нормальном менструальном цикле составляет приблизительно 25%, на основании полученных данных можно предположить, что из числа кормящих женщин, возобновляющих половые сношения без предохранения до начала менструаций, только 5% могут забеременеть. Эта цифра соответствует данным о частоте случаев зачатия во время лактационной аменореи для развивающихся стран: там

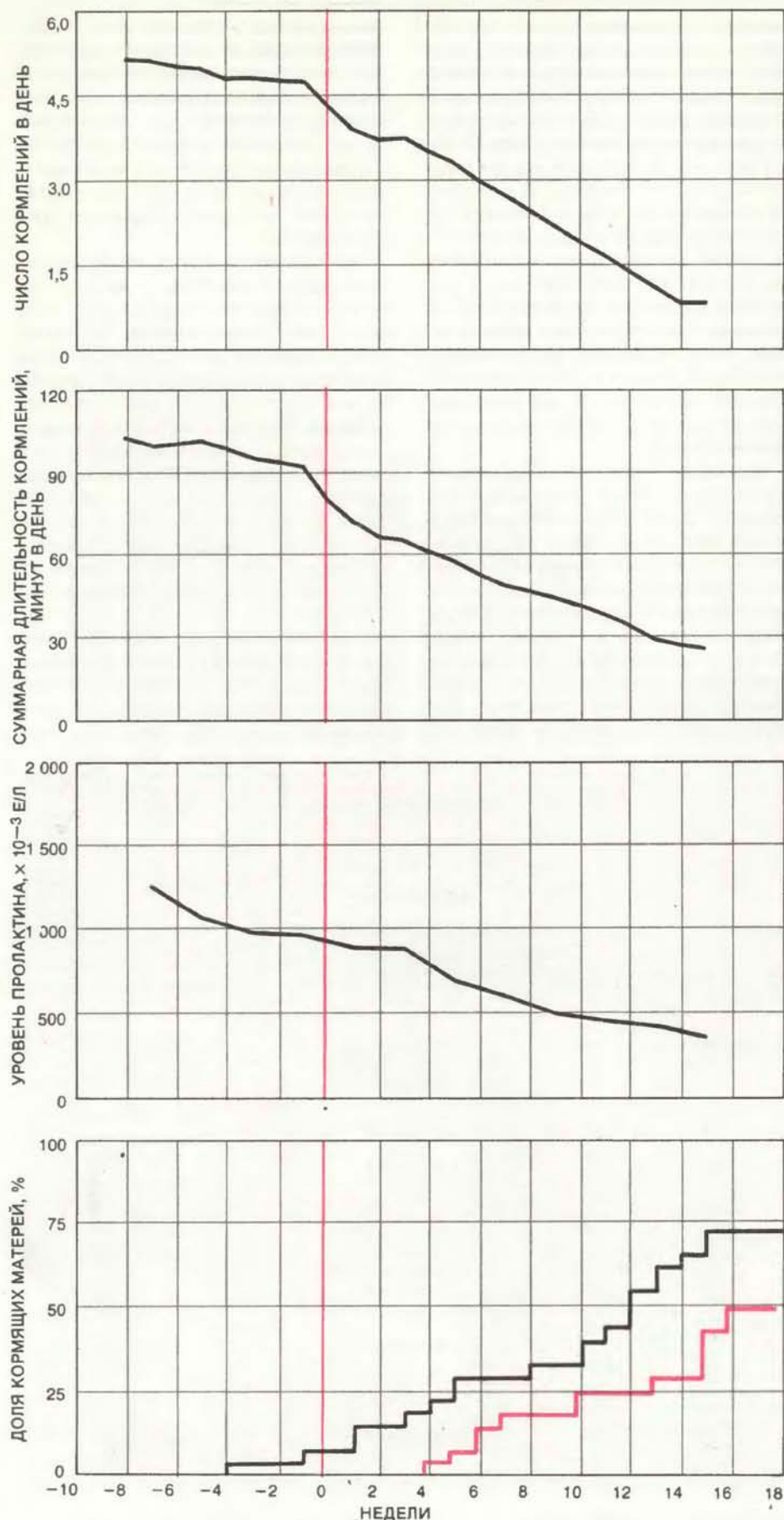
она составляет от 2 до 8%. Для тех, кто живет в развитых странах, такие цифры, могут показаться необычайно высокими. Однако напомним, что в развивающихся странах даже применение самых лучших из современных противозачаточных средств дает не слишком хорошие результаты, так как многие женщины не умеют правильно ими пользоваться.

При сравнении данных, полученных в Эдинбурге и Мельбурне, с тем, что известно о женщинах племени кунг, ярко выступают резкие различия. Большинство женщин из эдинбургской и мельбурнской групп отнимали детей от груди в возрасте 1,5 года, в то время как женщины кунг продолжали кормить их до 3,5 года. Немногие из первых кормили своих малышей более восьми раз в сутки, а женщины кунг в течение 12 часов дневного времени давали ребенку грудь около 48 раз (суммарные времена кормлений за день — 100 и 150 мин соответственно — принципиально не различаются).

Особенно важным, пожалуй, было то, что женщины из Эдинбурга и Мельбурна старались прекратить ночные кормления как можно скорее, в то время как женщины кунг спали со своими



ГОРМОНАЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ кормления грудью включаются при раздражении соска. На рисунке показаны эффекты некоторых из гормонов гипоталамуса и гипофиза. Стимуляция или усиление процесса под действием гормона обозначены сплошными стрелками. Ингибирование секреции гормона обозначено пунктирными стрелками. Поскольку секреция пролактина из гипофиза в норме ингибируется дофамином, который секретируется гипоталамусом, при понижении уровня дофамина увеличивается секреция пролактина. Окситоцин синтезируется в гипоталамусе и по нервным волокнам поступает в заднюю долю гипофиза, откуда он переходит в кровяной ток. Окситоцин стимулирует выделение молока.



ПРИКАРМЛИВАНИЕ ребенка с 3-й до 24-й недели после рождения имеет ряд эффектов. Сверху вниз показано: изменение числа кормлений в день, общего времени кормления в сутки, уровня пролактина в крови матери. Время начала прикармливания отмечено вертикальной цветной линией и принято за нулевое. На самом нижнем рисунке черная кривая отражает влияние прикармливания на функцию яичников (синтез эстрогена), цветная — на овуляцию. Представлены данные, полученные при исследовании 27 кормящих матерей в Эдинбурге.

детьми, так что продолжали кормить их по ночам в течение всего лактационного периода. В то же время из результатов исследования кормления животных (в частности, телят) известно, что от интервала времени между кормлениями зависит торможение овуляции после отела. Если телятам дают сосать только 30 мин в день, они растут с нормальной скоростью, но у коров почти сразу же возобновляется эструс. Когда же телятам дают сосать, сколько они хотят, у коров долго не начинается эструс. Следовательно, прекращение ночных кормлений, по-видимому, снимает в гипоталамусе торможение секреции гормонов, связанное с сосанием груди ребенком, и активность яичников восстанавливается.

НЕКОТОРЫЕ исследователи пытались объяснить продолжительность лактационной аменореи недостаточным питанием. Этот довод, конечно, не может относиться к женщинам из Эдинбурга и Мельбурна, так как все они питались хорошо. Дж. Бонгаартс из Совета по вопросам народонаселения проанализировал данные по ряду развивающихся стран и пришел к выводу, что некоторое недоедание почти не влияет на длительность лактационной аменореи. Однако возможно, что есть какая-то связь между питанием и частотой кормлений. Так, из данных Э. Лоудона (Эдинбургский университет, Шотландия), изучавшего животных, следует, что самки красного оленя, которые паслись на бедных пастбищах, давали меньше молока по сравнению с теми, которые паслись на постоянных пастбищах с хорошей травой. Из-за недостатка подножного корма телята сосали гораздо чаще, у их матерей уровень пролактина был выше и эструс возобновился позже, чем у коров на хороших пастбищах.

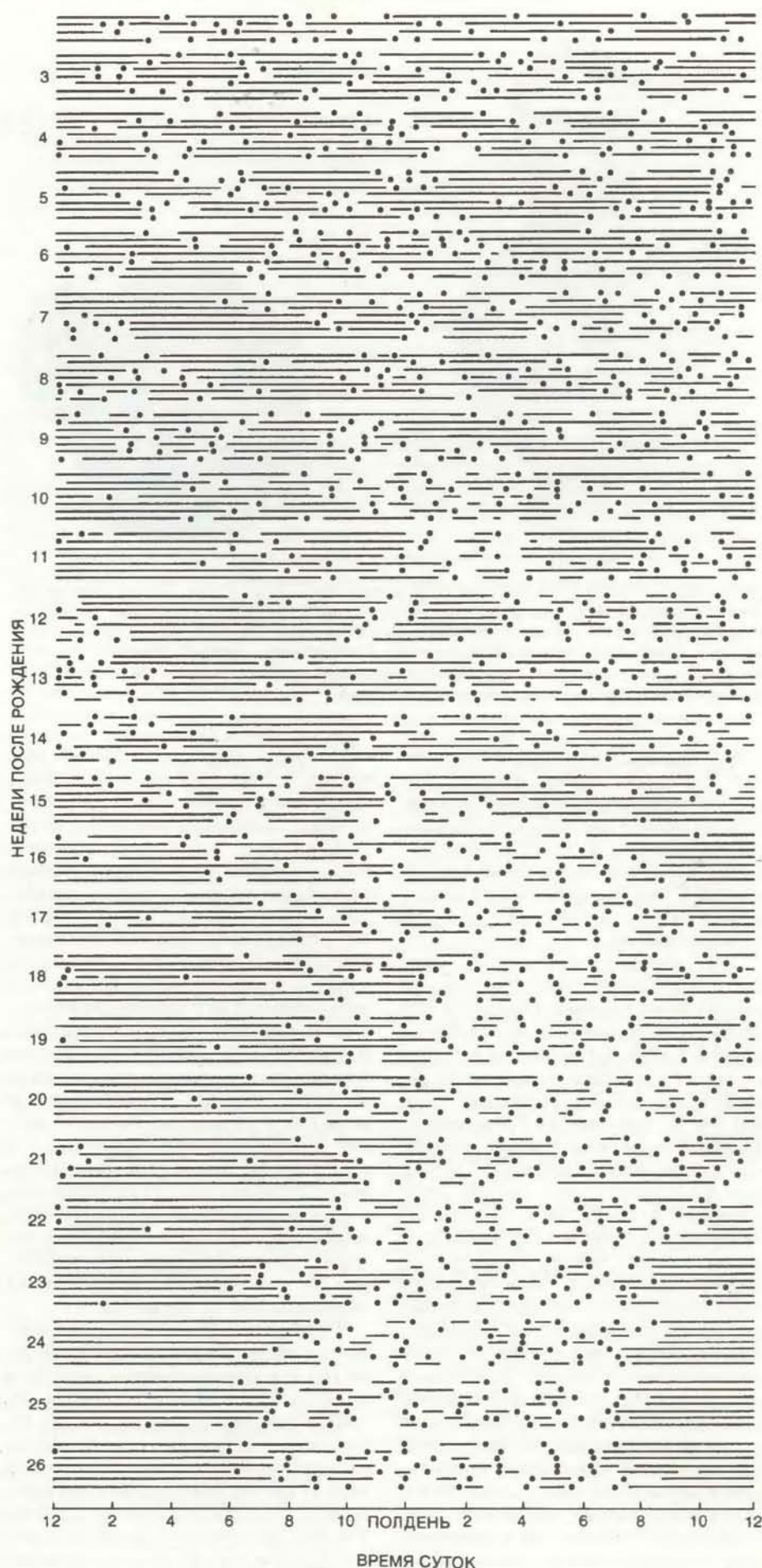
Р. Уайтхед с сотрудниками из отдела по вопросам питания при Совете медицинских исследований (Кембридж) провели исследования в Гамбии. Кормящим женщинам, которые недоедали, давали дополнительно высококалорийное печенье из расчета 700 ккал в день. Уайтхед пришел к выводу, что количество молока у этих женщин не увеличилось, хотя уровень пролактина упал и овуляция возобновилась скорее по сравнению с контрольной группой женщин, не получавших дополнительного питания. По этим данным можно было бы предположить, что даже если сильно недоедающей кормящей матери давать дополнительное питание, то ее ребенку все равно потребуются прикорм, так как количество молока у нее не увеличится.

Нет сомнения, что это не так. Фермер, которому придет в голову, что количество и качество пищи коровы не влияет на удой молока, очень быстро разорится. В свете результатов, полу-

ченных при изучении красного оленя, более вероятно предположение, что в случае, описанном Уайтхедом, дополнительное питание влияло на количество молока у кормящих женщин, но вследствие его увеличения уменьшалась частота кормлений (данные о частоте кормлений у Уайтхеда ненадежны). В результате падал уровень пролактина и овуляции возобновлялись раньше. Если выбирать между дополнительным питанием только матери или и матери и — отдельно — ребенка, то совершенно очевидно, что первый вариант предпочтительнее. Он не только даст возможность матери иметь больше молока и тем самым обеспечит оптимальное питание ребенку, но, кроме того, частые кормления будут иметь противозачаточный эффект. Настоятельно необходимы дальнейшие исследования влияния дополнительного питания на количество молока у кормящей женщины. Такие данные должны учитываться в программах помощи голодающему населению развивающихся стран.

КОГДА следует начинать дополнительно прикармливать ребенка? Один из подходов к решению этого вопроса заключается в том, чтобы установить кривую «нормального» роста ребенка (такие кривые почти всегда составляются по данным для детей, вскормленных из бутылочки по системе, принятой в случаях кормления коровьим или человеческим пастеризованным молоком) и определить, когда скорость роста детей, вскармливаемых только грудью, начинает отклоняться от этой нормы. Есть и другой метод: оценить количество молока у кормящей женщины, определить энергетические потребности растущего ребенка и калорийность человеческого молока. Применив такой подход, Дж. Уотерлоу (Лондонская школа гигиены и тропической медицины) недавно пришел к выводу, что кормление только грудью не может удовлетворить энергетические потребности ребенка уже приблизительно через 3 месяца. В то же время Ч. Ан и У. Мак-Лин из Медицинской школы Университета Джонса Гопкинса показали, что дети матерей, участвовавших в исследовательской программе "La Leche" («Молоко»), которых кормили только грудью от 6 до 12 месяцев, росли совершенно нормально, по крайней мере в течение первых 9—10 месяцев.

Определить, когда нужно начинать прикармливать ребенка, можно также, обследуя его рот. В процессе эволюции установилось такое время появления зубов, что с определенной ступени развития ребенок может принимать помимо молока другую пищу. У охотников-собирателей не было специальных продуктов для детского питания; когда ребенка отнимали от груди, ему сразу на-



ЦИКЛ КОРМЛЕНИЙ ребенка грудью прослежен от 11-го до 182-го дня его жизни. Непрерывные линии обозначают периоды сна, точки — кормления, а пустые промежутки — периоды бодрствования. Видно, что мать постепенно отучала ребенка сосать по ночам, а это ослабляет противозачаточный эффект кормления грудью.



ДРЕВНИЕ СОСУДЫ ДЛЯ КОРМЛЕНИЯ свидетельствуют о том, что тенденция отказа от кормления грудью возникла очень давно. Эти глиняные сосуды находятся в коллекции Института истории медицины в Лондоне. Сосуд слева найден на Кипре, он относится приблизительно к X в до н.э., сосуд справа — с юга Италии — относится к IV—III в до н.э. Вероятно, в носик сосуда помещали небольшой кусочек губки, который играл роль соски.

чинали давать ту же пищу, что и взрослым, которую нужно жевать. Поскольку передние зубы (резцы) появляются не раньше чем через 6 месяцев после рождения, а до 9—10 месяцев нет малых коренных зубов, то можно утверждать, что 10 месяцев и есть естественный возраст, когда можно начинать прикармливание.

Одна из распространенных ошибок — недооценка продуктивности молочных желез человека. Считается, что обычно женщина может давать 700 мл молока в сутки, когда ребенку 6 недель, а начиная с третьего месяца жизни ребенка это количество увеличивается до 800 мл. П. Хартман из Университета Западной Австралии показал, однако, что австралийские женщины, кормящие своих детей только грудью, когда и сколько те хотят, до 15 месяцев без труда продуцируют по 1500 мл молока в сутки. Если у матери близнецы, то ежесуточный объем молока может превышать 2500 мл. Видимо, молочная железа функционирует по принципу «спрос рождает предложение»: чем чаще потребляется молоко, тем больше его образуется. По всей вероятности, внутри долек железы действует какой-то специальный механизм: растяжение их, когда они наполнены молоком, подавляет его дальнейшую выработку (как это происходит, еще не известно).

Во многих странах, как в развивающихся, так и в развитых, матери обычно начинают прикармливать ребенка довольно рано, иногда прямо со дня рождения. Такая практика может только ослабить продуцирование груд-

ного молока, кроме того, ребенок подвергается риску инфекции и исчезает противозачаточный эффект кормления грудью. Недавно появились доказательства того, что прикармливание в первые 4 месяца жизни порой приводит к развитию диатеза. Следовало бы убедить женщин кормить детей по крайней мере в течение первых 6 месяцев исключительно грудью и в этот период вводить дополнительные продукты в свой рацион, а не в питание ребенка.

Дискутируется также, какими противозачаточными средствами должна пользоваться кормящая мать и когда ей нужно начинать их применять. В развитых странах, где женщины кормят грудью сравнительно недолго и где к наличию довольно надежных противозачаточных средств относятся как к чему-то само собой разумеющемуся, пропагандируются т.н. барьерные методы: внутриматочные приспособления или мини-пилюля с прогестином в течение месяца со дня родов.

В развивающихся странах, где женщины кормят грудью дольше и где качество противозачаточных средств и их доступность далеки от идеала, ситуация совершенно другая. Как уже говорилось, противозачаточный эффект лактационной аменореи по крайней мере такой же, как и любого из современных противозачаточных средств. Так как лактационная аменорея может длиться год и более, по-видимому, нет оснований делать в этот период «двойную защиту». Более того, исследование в Бангладеш показало, что, применение противозачаточных пи-

люль, содержащих два гормона, у кормящей женщины фактически увеличивает вероятность зачатия, поскольку препарат угнетает лактацию, вследствие чего ребенка скорее отнимут от груди. К тому моменту, когда женщина прекращает кормить грудью, она обычно перестает применять и пилюли, лишаясь таким образом всякой защиты от возможной беременности.

Одним из самых эффективных и безопасных противозачаточных средств для кормящих женщин, к тому же несложным в употреблении, является препарат Депо-Провера. Это прогестинный препарат, который вводят путем инъекции раз в 3 месяца.

Собственно говоря, вопрос о применении препарата Депо-Провера пока остается открытым. В исследованиях, проведенных ВОЗ, не обнаружено, чтобы это вещество как-либо вредило здоровью или неблагоприятно влияло на состав и секрецию грудного молока. В то же время в развитых странах многие авторитетные специалисты высказываются против его применения потому, что отсутствие вредных побочных эффектов окончательно еще не доказано. Например, если в период кормления женщина зачала, хотя и получила инъекцию препарата Депо-Провера, есть основания думать, что может появиться ребенок с каким-либо врожденным дефектом. Из-за противодействия потребителей Управление по контролю за качеством пищевых продуктов, медикаментов и косметических средств (FDA) задержало ранее принятое разрешение на применение этого препарата в США в качестве противозачаточного средства, и в настоящее время вопрос рассматривается повторно.

Министр здравоохранения Великобритании отклонил рекомендацию Комитета по безопасности медикаментов и отказался разрешить применение препарата Депо-Провера по причинам «немедицинского характера». Национальный совет здравоохранения и благосостояния Швеции утвердил его внутри страны для употребления даже в родильных домах, но шведское Управление по международному развитию изъяло все фонды, отпущенные на его распространение в других странах. Федеральное управление здравоохранения ФРГ ранее запретило препарат Депо-Провера для кормящих женщин ввиду «неоправданного риска для здоровья», но недавно отменило свое решение. Австралийский Комитет по вопросам оценки лекарственных препаратов запретил применение препарата Депо-Провера в качестве противозачаточного средства потому, что «недостаточно клинических данных», хотя им пользуются 1,5 млн. женщин во всех странах.

Такие колебания неслучайны, их причина — риск, связанный с присутствием в препарате небольших ко-

личеств прогестина, который попадает в молоко матери и затем в организм ребенка. Но дети, которых кормят коровим молоком или основанными на нем смесями, также получают небольшое количество стероидов, потому что дойные коровы, как правило, беременны, а молоко — одна из возможностей вывести из организма избыток прогестерона и эстрогена, уровень которых при беременности повышен. Когда кормящая женщина становится беременной, в ее молоке появляются прогестерон и эстроген, т. е. как раз те гормоны, против которых направлено действие препарата Депо-Провера. Было бы лучше, если бы организации, отвечающие за качество медикаментов, утвердили препарат Депо-Провера в качестве противозачаточного средства для кормящих матерей, но запретили бы все продукты питания из коровьего молока для грудных детей.

Одна из причин, почему в развивающихся странах женское молоко особенно важно для здоровья грудных детей, — проблема иммунитета. Не так давно стало известно, что лейкоциты (белые кровяные тельца) переносятся из кишечника в молочную железу. Пейеровы бляшки (так называют скопления лимфоидной ткани в стенке тонкой кишки) содержат иммунокомпетентные клетки, нацеленные против кишечных патогенных микробов, с которыми организм матери встречался в течение своей жизни. Если в период кормления грудью женщина поглощает с пищей один из этих микробов, соответствующие клетки мигрируют из пейеровых бляшек в кровотоки, а оттуда попадают в молочные железы и секретируют специфический иммуноглобин А, являющийся антителом против данного микроба. Этому процессу может способствовать высокий уровень пролактина в крови.

На 4-й месяц лактации в женское молоко может переходить уже по 0,5 г антител в день. Эти антитела не всасываются через стенку кишечника ребенка, а остаются в его просвете, где выполняют очень важную роль, предупреждая желудочно-кишечные инфекции, которые представляют собой главную причину детской смертности. Никакая молочная смесь, как бы искусно она ни была составлена, не может заменить такую иммунную защиту, какую обеспечивает естественное грудное молоко.

Постоянное сокращение грудного вскармливания представляет собой истинную трагедию для человеческого рода. Из-за этого чрезмерно возросла фертильность, с одной стороны, и детская смертность — с другой. Уже накоплено достаточно знаний, чтобы предотвратить повторение этой трагедии в развивающихся странах. Сейчас задача состоит в том, чтобы применить их на практике.

Лед X

ОДНИМ из самых исключительных свойств воды является то, что при атмосферном давлении ее твердая фаза имеет меньшую плотность, чем жидкая. Значение этого феноменального свойства, отличающего воду почти от всех других веществ, можно оценить, попытавшись представить себе, как сложилась бы эволюция биосферы, если бы вода замерзала снизу вверх, а не сверху вниз. Способность льда плавать на поверхности воды можно объяснить особенностью его кристаллической структуры. В массе льда при обычных условиях молекулы H_2O соединены строго направленными и расположенными под тупым углом друг к другу водородными связями, образующими правильный шестиугольник. В такой структуре между молекулами остается относительно большое свободное пространство. Когда кристалл обычного льда тает, эта жесткая структура разрушается и некоторые молекулы заполняют свободное пространство, поэтому плотность повышается.

Плотность воды в замороженном состоянии можно увеличить и другим путем, но для этого необходимы необычные условия. Если лед сжимать под давлением более 2000 атм, то молекулы воды могут образовать различные структуры неправильной формы, в которых свободное пространство между молекулами также будет меньше, чем в обычном льде, и, следовательно, плотность будет больше. На протяжении нескольких лет таким способом были получены восемь модификаций льда, которые получили обозначения от «лед II» до «лед IX» (в отличие от обычного льда, или «льда I») и представляют собой необычные твердые фазы воды, существующие при высоких давлениях. На фазовой диаграмме состояния воды им соответствуют определенные области температур и давлений. Когда высокое давление снимается, каждая из этих модификаций вновь принимает структуру обычного льда или воды в жидком состоянии в зависимости от температуры.

Более 10 лет назад немецкий физик В. Хольцапфель высказал предположение о существовании еще одной твердой модификации воды. Вычисленная теоретически плотность этой фазы имеет настолько высокое значение, что кристаллическая структура уже не может состоять из строго упорядоченных молекул, соединенных водородными связями. Вместо этого каждый атом кислорода должен быть окружен плотной кубической решеткой близко расположенных атомов кислорода, а атомы водорода располагаться посере-

дине между каждой парой атомов кислорода, и таким образом они были бы связаны с одним атомом кислорода не сильнее, чем с другим. Первоначально предсказывалось, что такая структура, называемая симметричным льдом, или «лед X», могла бы образоваться только при давлениях свыше 350 тыс. атм, получение которых лежит за пределами возможностей современной техники.

Лишь недавно с появлением уникального устройства, позволяющего получать исключительно высокие давления и называемого алмазной наковальней, идея получения новой симметричной фазы льда стала практически осуществимой (см. статью А. Джаярамана «Алмазные наковальни в физике высоких давлений», «В мире науки», № 6, 1984). Новое изобретение вселяет надежду на успех. Первая попытка получить в экспериментальных условиях лед X была предпринята в Аргоннской национальной лаборатории французским исследователем А. Поляном и сотрудником этой лаборатории М. Гримсдичем. Результаты своих исследований оба ученых опубликовали в журнале "Physical Review Letters".

В первых экспериментах Полян и Гримсдич очень небольшое количество воды при комнатной температуре подвергали сжатию до давления примерно 300 тыс. атм в алмазной наковальне. Используя спектроскопию бриллюэновского рассеяния, они определяли сжимаемость образца косвенно по отражению луча лазера от строго направленных звуковых волн, распространяющихся в образце, и, как сообщается, «не наблюдали никакого аномального поведения». Однако когда в последующих экспериментах давление увеличивалось до 670 тыс. атм, наблюдалась «аномальность в поведении продольной составляющей скорости звука» уже при давлении 440 тыс. атм, что указывает на происшедший в образце фазовый переход. Хотя в сообщении содержится оговорка, что наблюдаемое явление можно объяснить по меньшей мере еще одной причиной, авторы делают вывод: полученная при 440 тыс. атм фаза «является десятой известной твердой модификацией H_2O , и . . . , по всей вероятности, это и есть предсказанный ранее симметричный лед. Если так, то он является первой немолькулярной структурой воды».

Несохранение четности в атомных системах

Не все эффекты, наблюдаемые в экспериментах с атомами, являются зеркально-симметричными.

Асимметрия возникает вследствие слабых взаимодействий между электронами и атомными ядрами

МАРИ-АНН БУШЬЯ, ЛИОНЕЛЬ ПОТЬЕ

ИДЕЯ симметрии играет фундаментальную роль при изучении законов природы. Атом представляет собой пример физической системы, отличающейся высокой степенью симметрии. В простейших атомах электроны, вращающиеся вокруг ядер, распределены по сферическим оболочкам, которые симметричны относительно поворотов вокруг любой оси, проходящей через атомное ядро. В более сложных атомах распределение электронов не обладает сферической симметрией, однако и в этом случае можно найти некоторую плоскость или ось симметрии. Физикам известна еще более высокая симметрия, свойственная атому. До недавнего времени атом рассматривали как систему, связанную только электромагнитными силами, которые не «чувствуют» различий между «левым» и «правым». Чтобы быть более точными, возьмем некоторую физическую систему и сравним ее со второй системой, представляющей зеркальное изображение первой. Оказывается, что все эффекты, которые могут происходить во второй системе, являются зеркальными отображениями эффектов, происходящих в первой системе. Это важное свойство электромагнитных сил называют сохранением четности.

В последнее время было затрачено много усилий на то, чтобы экспериментально проверить сохранение четности в атомах. Эти эксперименты не были вызваны подозрениями, что электромагнитные силы нарушают (другими словами, не сохраняют) четность. Напротив, казалось, что электромагнитные взаимодействия в атоме доминируют настолько, что возможные отклонения от точного сохранения четности должны быть чрезвычайно малы. Однако атом не является чисто электромагнитной системой. Помимо электромагнитных сил на движение элементарных составляющих атома влияют три другие фундаментальные силы. Эти силы порождаются гравитационными, слабыми и сильными взаимодействиями. В масштабах атомов гравитацией мож-

но пренебречь. Что касается сильных взаимодействий, то электроны, движением которых определяются свойства атомов, в них не участвуют. Остаются, однако, еще слабые взаимодействия между каждым электроном и атомным ядром, которые могут привести, согласно теоретическим расчетам, к небольшим возмущениям электронных орбит. Это происходит в тех случаях, когда электрон «забредает» в достаточно близкую окрестность ядра, где он может «почувствовать» влияние сил, обусловленных слабым взаимодействием.

Возмущения, вызываемые слабыми взаимодействиями, должны приводить к небольшим нарушениям четности в атомных системах. Поэтому эффекты слабых взаимодействий в атомах можно обнаружить экспериментально. Идея таких экспериментов в принципе весьма проста, однако они сложны для практического воплощения. Рассмотрим некоторую систему атомов и создадим в ней определенное преимущество «левого» над «правым». Изучим те свойства системы, которые зависят от такого преимущества. Теперь заменим рассматриваемую систему другой — зеркальным отображением первой. Естественно, во втором случае будет иметь место преимущество «правого» над «левым». Будем изучать те же свойства системы. Если обнаружится, что наблюдаемые эффекты при зеркальном отражении не переходят друг в друга, то можно сделать вывод, что четность нарушается.

В конце 70-х годов был поставлен ряд экспериментов по обнаружению нарушения четности в атомных системах. Эксперименты не увенчались успехом. В цепи теоретических предсказаний, столь успешно подтвердившихся в других случаях, появилось слабое звено. Теперь это важное звено «выковано заново». Несколько экспериментальных групп, в том числе и наша группа из Высшей нормальной школы (École Normale Supérieure) в Париже, подтвердили существование эффекта нарушения четности в некоторых атомных

системах. Эти результаты служат хорошим дополнением к впечатляющим успехам новой теории слабых взаимодействий в предсказании явлений, происходящих при чрезвычайно высоких энергиях. Среди них особое место занимает открытие частиц W^+ , W^- и Z^0 , сделанное в прошлом году физиками Европейской организации ядерных исследований (ЦЕРН) в Женеве. В атомной физике эксперименты выполняются при значительно меньших энергиях, чем на ускорителях, поэтому свойства слабых взаимодействий можно проверить на значительно больших расстояниях. Кроме того, подобные эксперименты дают информацию об интенсивности слабых взаимодействий между фундаментальными составляющими материи — кварками и электронами. Такую информацию пока трудно получить из опытов с частицами высоких энергий.

ГОВОРЯ о слабых взаимодействиях, в качестве примера обычно приводят процесс бета-распада, важное звено в механизме термоядерного превращения водорода в гелий в недрах Солнца. При бета-распаде нейтрон в ядре превращается в протон, причем испускаются электрон (бета-лучи) и антинейтрино. Более 25 лет назад было обнаружено, что в этой реакции четность не сохраняется. Электрон, испущенный ядром, как бы вращается в направлении, на которое указывают согнутые пальцы левой руки, если ее большой палец направлен в сторону движения электрона. В то же время антинейтрино всегда вращаются подобно правому винту. Зеркальным отображением процесса бета-распада была бы реакция, в которой вылетающий электрон вращался бы как правый винт, а испускаемое антинейтрино — как левый. Такая реакция, однако, никогда не наблюдалась.

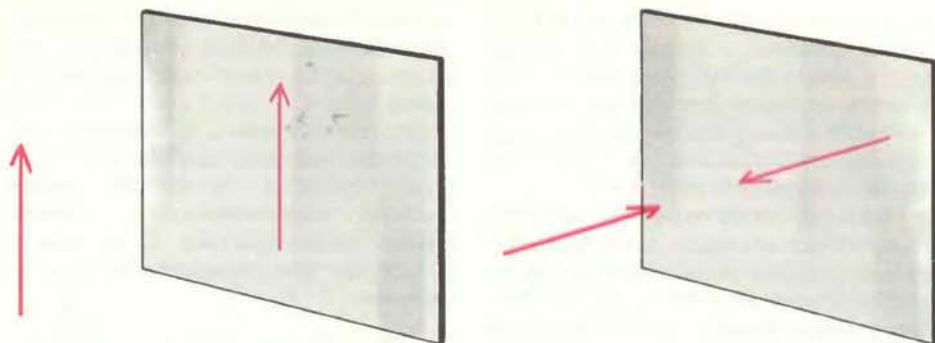
Нарушение четности в бета-распаде сопровождается изменением электрического заряда распадающегося нейтрона. По мере того как изучались другие реакции, вызванные слабыми взаимодействиями, стало казаться, что они

всегда сопровождаются изменением электрического заряда и, следовательно, изменением индивидуальности взаимодействующих частиц. Например, нейтрино с большей энергией может превратиться в электрон, но для такого процесса необходима единица отрицательного заряда. Такие превращения вызываются частицами, переносящими слабые взаимодействия. Они принадлежат к семейству частиц, называемых калибровочными бозонами.

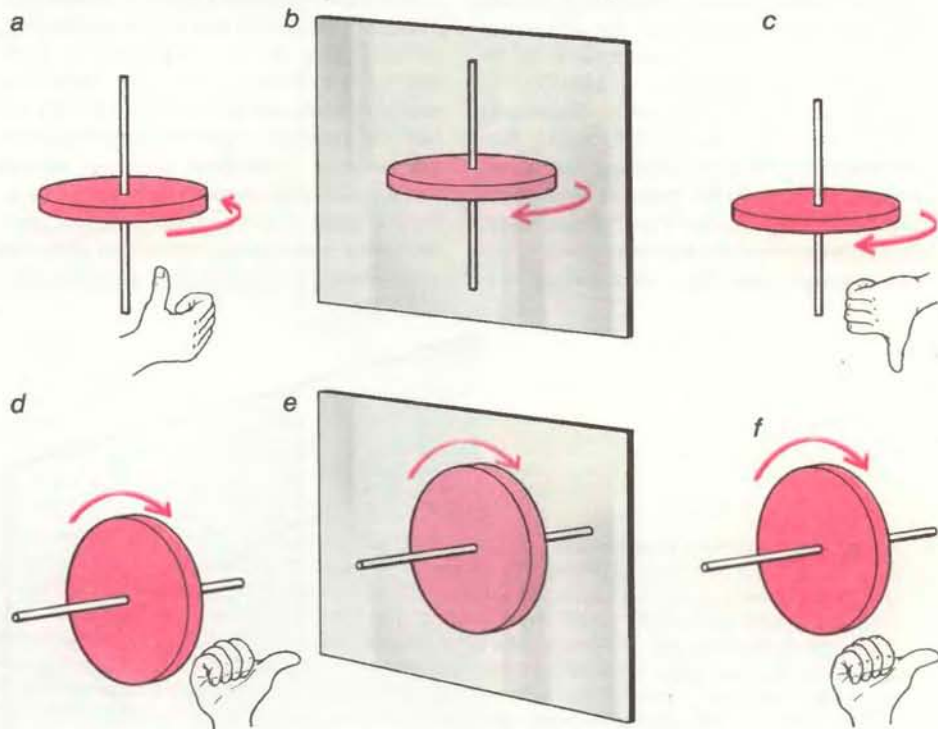
Калибровочные бозоны слабых взаимодействий аналогичны фотону, который переносит электромагнитные взаимодействия и также является калибровочным бозоном. Однако в отличие от электрически нейтрального фотона некоторые калибровочные бозоны несут единицу электрического заряда. Такие бозоны ответственны за процесс бета-распада и другие реакции, обусловленные слабыми взаимодействиями, которые были известны до 70-х годов. Калибровочный бозон W^+ несет единицу положительного заряда, а W^- — единицу отрицательного заряда. Поэтому считалось само собой разумеющимся, что слабые взаимодействия и связанное с ним нарушение четности не имеют отношения к физике стабильных атомов. Если слабые взаимодействия всегда приводят к изменению заряда, то они не могут повлиять на движение атомных электронов, не превратив их в другие частицы и не нарушив тем самым стабильности атома.

Отметим также, что теория слабых взаимодействий была математически неудовлетворительной до конца 60-х годов, когда ей на смену пришла новая теория. С. Вайнберг и Ш. Глэшоу, оба работавшие в то время в Гарвардском университете, и А. Салам из Международного центра теоретической физики в Триесте независимо предположили, что слабые и электромагнитные взаимодействия могут быть описаны как различные проявления единого электрослабого взаимодействия. Впоследствии объединенная теория электрослабых взаимодействий была поставлена на твердый математический фундамент Г. 'т Хофтом из Утрехтского университета.

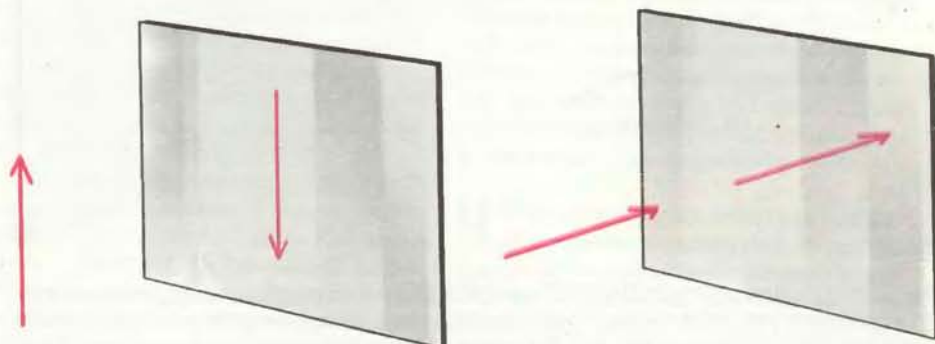
Согласно этой теории, существует третий, нейтральный, калибровочный бозон, обозначаемый Z^0 , который переносит новый вид слабых взаимодействий. Взаимодействия, в которых участвует калибровочный бозон Z^0 , также могут нарушать четность, но, поскольку Z^0 не несет электрического заряда, такое взаимодействие не приводит к изменению индивидуальности частиц. Поэтому обмен бозоном Z^0 весьма похож на обмен фотоном при электромагнитных взаимодействиях. Слабые взаимодействия с обменом калибровочным бозоном Z^0 впервые наблюдались в 1973 г. в нейтринных экс-



СИММЕТРИЮ И АСИММЕТРИЮ в физической системе, подобной атому, можно определить по эффекту зеркального отражения на обычные векторы, или стрелки. Когда стрелка параллельна плоскости зеркала, ее положение при отражении сохраняется неизменным (слева). Направление стрелки, перпендикулярной зеркалу, при отражении изменяется на противоположное (справа).



ПРАВИЛО ПРАВОЙ РУКИ — общепринятый способ введения векторной величины, связанной с вращением. Вращающемуся объекту сопоставляется стрелка, которая параллельна оси вращения и указывает в направлении большого пальца правой руки, если остальные пальцы согнуты в направлении вращения (a, d). Когда плоскость вращающегося диска перпендикулярна зеркалу, его изображение вращается в направлении, противоположном вращению реального диска (b). Если плоскость диска параллельна зеркалу, то диск и его изображение вращаются в одну сторону (e). Правило позволяет определять направление движения реальных дисков, вращающихся аналогично отраженным дискам (c, f).



АКСИАЛЬНЫЕ ВЕКТОРЫ по своим свойствам аналогичны стрелкам, определяющим вращение диска. Если аксиальный вектор параллелен зеркалу, то его изображение переворачивается (слева), а если перпендикулярен, его направление при отражении не изменяется (справа).

периментах, выполненных в ЦЕРНе. Таким образом, в теории электрослабых взаимодействий предлагается механизм, который мог бы в принципе привести к возмущениям электронных орбит в стабильном атоме вследствие слабых взаимодействий.

Однако простые теоретические соображения подсказывали, что в реальных атомах эффекты возмущения электронных орбит должны быть слишком малы, чтобы их можно было обнаружить экспериментально. Теория электрослабых взаимодействий предсказывала огромную массу трех калибровочных бозонов: для W^+ и W^- порядка 80 ГэВ (в энергетических единицах), а для бозона Z^0 даже немного больше — около 90 ГэВ. В прошлом году все эти предсказания были подтверждены в экспериментах, проведенных в ЦЕРНе. С 1934 г., со времен работы Х. Юкавы из Университета г. Киото (Япония), было известно, что чем больше масса частицы, тем меньше радиус переносимого ею взаимодействия. Например, фотон имеет нулевую массу покоя, так что радиус действия электромагнит-

ных сил бесконечен. Большие массы калибровочных бозонов означают, что радиус слабых взаимодействий чрезвычайно мал — около $2 \cdot 10^{-18}$ м. Это было подтверждено в экспериментах по рассеянию нейтрино другими частицами (такие процессы обусловлены только слабыми взаимодействиями). Радиус слабых взаимодействий более чем в 10 млн. раз меньше характерного радиуса атома.

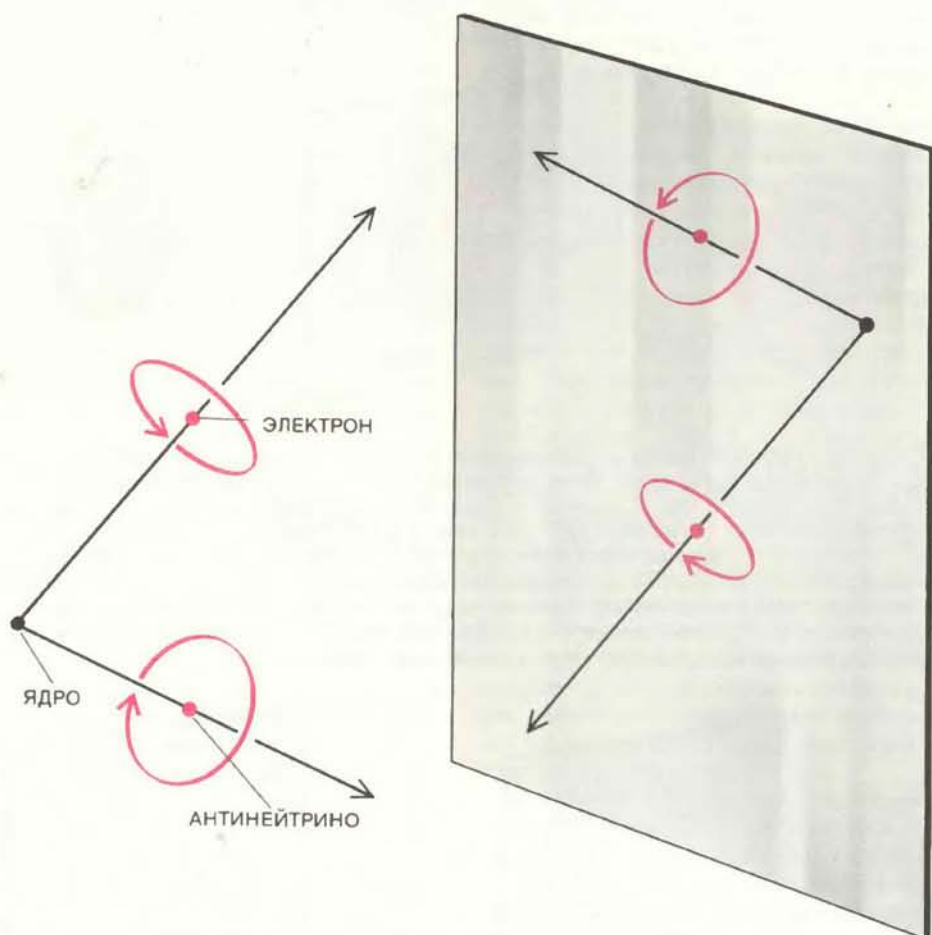
КАКИМ ЖЕ образом обнаружить эффекты слабых взаимодействий в атоме? На большинстве атомных орбит электроны фактически недостижимы для слабых взаимодействий. Однако если орбита имеет большой эксцентриситет, т. е. если она очень вытянута, то электрон может подходить к ядру достаточно близко, чтобы слабые взаимодействия могли оказать на него заметное влияние. Спектроскопические и химические свойства атомов почти полностью определяются электронами на внешней орбите. Поэтому для наблюдения нарушения четности один из этих внешних электронов должен про-

никнуть в глубь «облака» внутренних электронов.

На внутреннем участке такой орбиты на движение электрона не оказывают влияния другие электроны атома, которые обычно экранируют положительный заряд ядра. В то же время электрон, который проник внутрь атома, в полной мере испытывает воздействие всех протонов ядра. Часть электронной орбиты, лежащая под «облаком» других электронов атома, напоминает орбиту одиночного электрона в атоме водорода. Однако ядра тяжелых атомов состоят из большого числа протонов, тогда как ядро атома водорода имеет единичный положительный заряд. (Напомним, что полный заряд ядра равен атомному номеру Z). Соответственно расстояние между электроном и ядром на внутреннем участке электронной орбиты в Z раз меньше расстояния между электроном и протоном в атоме водорода. Более того, силы, обусловленные слабым взаимодействием, пропорциональны скорости электрона вблизи ядра, которая увеличивается при уменьшении расстояния между ними. Это также в Z раз усиливает эффект несохранения четности. В 1973 г. К. Бушья из Высшей нормальной школы в Париже и один из авторов (М. -А. Бушья) показали, что асимметрия между «правыми» и «левыми», т. е. количественная характеристика нарушения четности, возрастает при увеличении атомного номера чуть быстрее, чем Z .

Приблизительно кубический закон усиления эффектов несохранения четности приводит к тому, что для тяжелых атомов со значением Z между 50 и 100 влияние слабых взаимодействий должно быть в 10^6 — 10^7 раз более заметным, чем для водорода. Однако наряду с преимуществами тяжелые атомы имеют и свои недостатки, которые могут свести эти преимущества на нет. Чтобы из результатов эксперимента определить численные параметры теории электрослабых взаимодействий, необходимо математическое описание атома. Сложность вычислений возрастает с увеличением числа электронов на внешней электронной оболочке. Другие оболочки в первом приближении могут рассматриваться как инертные сферические структуры, подобные оболочкам атомов благородных газов.

При попытках измерить нарушение четности в атомных системах экспериментаторы нашли несколько компромиссных решений между величиной этого эффекта и вычислительными возможностями. Опыты выполнялись с висмутом (атомный номер 83), свинцом (82), таллием (81), цезием (55) и даже водородом (1). Сейчас насчитывается более десяти экспериментов, которые либо уже завершены, либо находятся в стадии осуществления. Их



НЕСОХРАНЕНИЕ ЧЕТНОСТИ В БЕТА-РАСПАДЕ уже более 25 лет назад было интерпретировано как проявление особенностей слабого взаимодействия. В атомном ядре нейтрон превращается при бета-распаде в протон с испусканием электрона и антинейтрино. Электрон всегда вращается в направлении согнутых пальцев левой руки, если большой ее палец указывает в направлении движения электрона. Антинейтрино по отношению к своему движению вращается всегда в обратном направлении. Процесс, который является зеркальным отображением описанного, запрещен законами слабых взаимодействий.

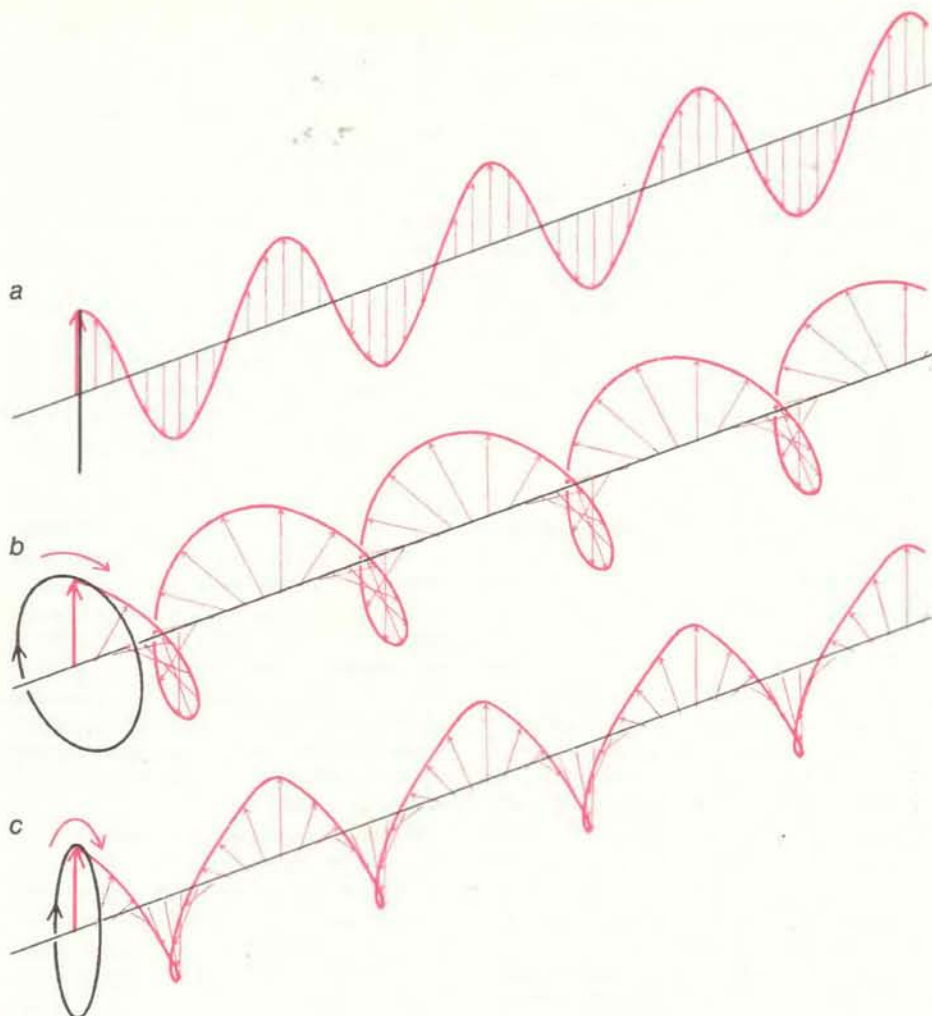
можно разбить на три основные категории.

К ПЕРВОЙ категории отнесем эксперименты, в которых измеряется вращение плоскости поляризации света в газе, состоящем из изучаемых атомов. Такая техника была предложена независимо П. Сандарсом из Оксфордского университета, И. Б. Хрипловичем из Института ядерной физики СО АН СССР в Новосибирске и Д. Сорейде и Н. Фортсоном из Вашингтонского университета (г. Сизтл)*. Чтобы понять эффект оптического вращения, рассмотрим различные виды поляризации света.

В каждой точке вдоль светового луча имеется электрическое поле, которое можно представить как быстро осциллирующий вектор, перпендикулярный направлению распространения луча. Когда конец стрелки, изображающей вектор электрического поля, колеблется вдоль прямой линии, говорят, что свет имеет линейную поляризацию. Вектор электрического поля и вектор, направленный вдоль движения луча, определяют плоскость, называемую плоскостью поляризации. При распространении линейно поляризованного света колеблющаяся стрелка описывает в пространстве синусоиду, лежащую в плоскости поляризации.

Поляризация света другого типа происходит, когда проекция конца стрелки на плоскость, перпендикулярную направлению распространения луча, вращается по кругу. В этом случае говорят, что свет имеет циркулярную (или круговую) поляризацию: след от конца стрелки при распространении луча в пространстве — спираль, закрученная подобно правому или левому винту в зависимости от направления вращения стрелки.

Наиболее общий вид поляризации света — эллиптическая поляризация, когда проекция конца стрелки описывает эллипс в плоскости, перпендикулярной направлению распространения света. Как циркулярная, так и линейная поляризация — частные случаи эллиптической. Линейная поляризация — это вырожденный случай, когда малая ось эллипса равна нулю. Циркулярная поляризация — предельный случай, когда обе оси эллипса одинаковы. Эллиптически поляризованный свет имеет свойства «правого» или «левого», так же как и свет с круговой поляризацией. Действительно, если смотреть вдоль направления распространения луча, то



ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА может быть представлена с помощью вектора электрического поля световой волны в каждой точке пространства. Этот вектор колеблется в плоскости, перпендикулярной направлению распространения светового луча; частота колебаний равна частоте световой волны. Если конец вектора при колебаниях описывает отрезок прямой линии, то свет линейно поляризован. Если конец вектора описывает окружность, то свет циркулярно поляризован. В наиболее общем случае конец вектора описывает эллипс, и свет эллиптически поляризован. Если учесть направление распространения луча, то конец вектора электрического поля волны будет описывать некоторую траекторию в пространстве. Для линейно поляризованного света траектория является синусоидой, лежащей в плоскости поляризации и не имеющей свойств правого или левого винта (а). Для циркулярно поляризованного света траектория представляет собой спираль, винтовые свойства которой зависят от соотношения между направлениями вращения и распространения луча (b). Для эллиптически поляризованного света траектория конца вектора также имеет свойства правого или левого винта (с).

движение вектора электрического поля по эллипсу может осуществляться как по часовой стрелке, так и против нее. Линейно поляризованный свет не обладает таким свойством: в этом случае о движении стрелки нельзя сказать, «левое» оно или «правое».

Оптическое вращение — это действие оптически активной среды на линейно поляризованный свет. Когда луч света с линейной поляризацией проходит через такую среду, плоскость поляризации поворачивается на некоторый угол. В результате из среды выходит луч света, который остался линейно поляризованным, но в несколько другом направлении. Такое вращение обнаружено для молекул многих соедине-

ний, включая биологические системы. Однако в атомарном газе до недавнего времени оно не наблюдалось. Причина в том, что оптическое вращение в случае молекул вызвано винтовой структурой самих частиц, из которых состоит оптически активная среда.

ЧАСТО атомы расположены в молекуле таким образом, что никакими вращениями или перемещениями в пространстве молекулу невозможно преобразовать в копию ее зеркального отражения. Например, молекула ДНК таким особым образом закручена вдоль своей центральной оси, что ее уже невозможно превратить в свое зеркальное отражение, так же как правую

*Несохранение четности в атомах и появление в связи с этим оптической активности рассматривалось впервые академиком Я. Б. Зельдовичем еще в 1959 г., задолго до создания объединенной теории электрослабых взаимодействий. — *Прим. перев.*

руку нельзя превратить в левую. Можно сказать, что эта молекула «отличает правое от левого». Если правовинтовая молекула приводит к оптическому вращению A , то в зеркале можно было бы увидеть левовинтовую молекулу, приводящую к оптическому вращению в противоположном направлении $-A$. Оказывается, что оптическое вращение, вызываемое реальной левовинтовой молекулой, точно равно $-A$; другими словами, такая молекула соответствует зеркальному отражению правовинтовой молекулы. Таким образом, при оптическом вращении, вызываемом этими молекулами, сохраняется четность.

В атоме, однако, не существует подобной геометрической выделенности свойств «правого» или «левого». В атомарном газе ее можно создать только извне, например путем наложения внешнего магнитного поля или выстраивая в каком-то выделенном направлении оси вращения атомов. В отсутствие внешней выделенности свойств «правого» или «левого» атомы в зеркале выглядели бы точно так же, как и в действительности. Предположим, что в такой среде наблюдается небольшое оптическое вращение линейно поляризованного луча света. Тогда в зеркале мы увидели бы атомы, идентичные реальным атомам, но которые тем не менее приводят к оптическому вращению в противоположном, чем в действительности, направлении. Произошло бы нарушение четности. Оптическое вращение в атомарном газе не вызвано выделенностью «правого» или «левого» в геометрии атомов (как это имеет место в молекулярном газе) — оно является следствием законов физики слабых взаимодействий*

Теория электрослабых взаимодействий предсказывает чрезвычайно малый угол оптического вращения, порядка 10^{-5} градусов при самых благоприятных экспериментальных условиях. Такой угол примерно равен ширине швейной иглы, рассматриваемой с расстояния пять миль. Тем не менее несколько экспериментальных групп провели прецизионные опыты, в которых можно было наблюдать столь малое вращение в парах атомарного висмута. Первые результаты, опубликованные в 1976 и 1977 гг. исследователями из Оксфорда и Сизтла, были отрицательными: искомым эффектом то ли отсутствовал, то ли был много меньше предсказанной величины. Некоторое время даже поговаривали о необходимости ревизии теории Вайнберга — Салама.

*На самом деле вследствие нарушения четности во взаимодействии электрона с ядром в атоме все-таки возникает винтовая структура, связанная с распределением направления спинов электронов, а не самих частиц, как в молекулах. — Прим. ред.

Однако в 1978 г. Л. М. Барков и М. С. Золоторев из Института ядерной физики СО АН СССР в Новосибирске сообщили о наблюдении в парах висмута оптического вращения, имеющего нужную величину и нужный знак. Вскоре после этого ученые из Стэнфордского ускорительного центра (SLAC) отчетливо наблюдали нарушение четности при рассеянии электронов высоких энергий нейтронами и протонами. Хотя обнаруженный эффект количественно согласовывался с теорией Вайнберга — Салама, он не имел прямого отношения к вопросу о сохранении четности в атомах. После повторных измерений с применением улучшенной техники ученые из Оксфорда и Сизтла наконец сообщили о наблюдении оптического вращения нужной величины в парах висмута. В прошлом году подобное вращение было обнаружено в Сизтле в опытах со свинцом. Четвертая группа ученых* — в Москве — в 1980 г. заявила об отсутствии вращения в висмуте, однако недавно они наблюдали вращение, величина которого согласуется с данными, полученными в Оксфорде.

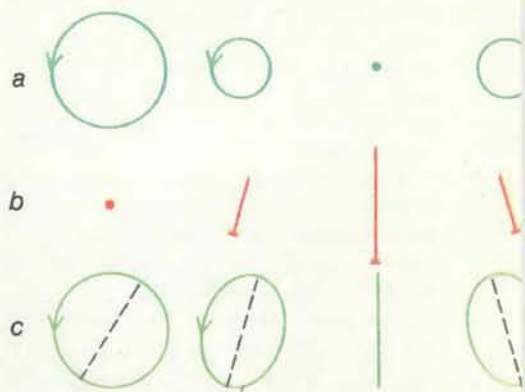
Несмотря на положительные результаты, надо учитывать, что в экспериментах по оптическому вращению можно натолкнуться на некоторые систематические эффекты, которые могут имитировать истинное нарушение четности. Действительно, количественные результаты экспериментов, выполненных в Москве и Оксфорде, не согласуются в полной мере с результатами, полученными в Новосибирске, хотя во всех трех экспериментах измерялась одна и та же характеристика для одной и той же среды — паров висмута. (В Сизтле для атомов висмута проводились несколько иные измерения, поэтому эти результаты нельзя сравнить непосредственно.) Сомнений относительно существования оптического вращения в парах висмута нет, однако делать количественные теоретические выводы пока еще преждевременно**.

В ТРЕХ экспериментах, отнесенных нами ко второй категории, делаются попытки обнаружить нарушение четности в атоме водорода. Поскольку атомный номер Z для водорода равен 1, величина Z^3 также равна 1 и «кубического» усиления эффекта несохранения

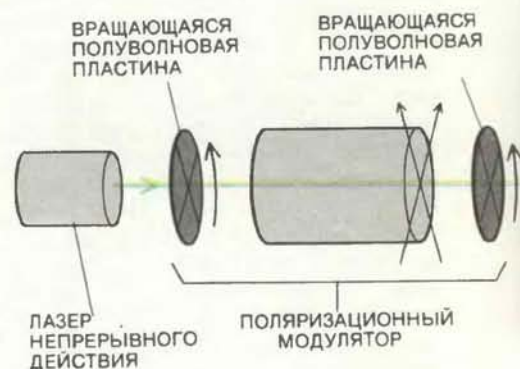
*Здесь имеются в виду эксперименты группы сотрудников Физического института АН СССР им. П. Н. Лебедева под руководством И. И. Собельмана. — Прим. перев.

**Это утверждение авторов является спорным. Новосибирские физики убеждены в том, что точность и теоретического расчета, и эксперимента (обе величины близки к 15%) достаточна для таких выводов. — Прим. ред.

четности нет. Влияние слабых взаимодействий на электрон в основном состоянии атома водорода настолько мало, что атом должен сохранять четность (нарушение четности может проявиться лишь на относительном уровне 10^{-14}). Однако для атомов водорода можно воспользоваться другим механизмом усиления эффекта несохранения четности. Два возбужденных со-



ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЙ МОДУЛЯТОР превращает монохроматическое линейно поляризованное излучение лазера в луч, поляризация которого периодически



АППАРАТУРА, использованная авторами статьи и их коллегами для измерения несохранения четности в атомах цезия, состоит из трех основных частей: источника излучения, многоходовой кюветы с образцом исследуемого газа и детектирующей системы. Источ-

стояния этого атома имеют близкие энергии. В экспериментах с одним из состояний, которое почти стабильно, можно на несколько порядков увеличить эффект нарушения четности. И все же эксперименты с водородом выполнить гораздо труднее, чем с более тяжелыми атомами.

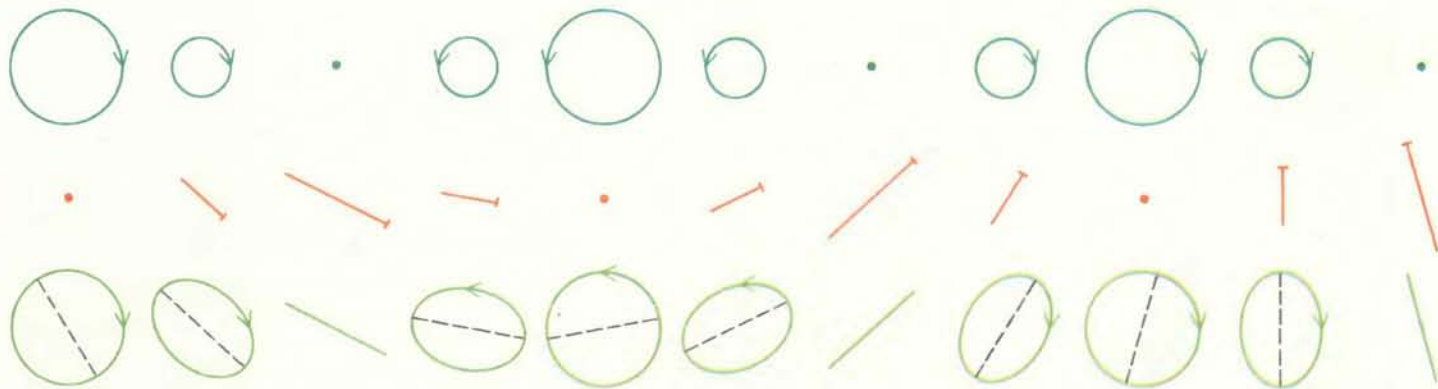
Серьезным стимулом для измерений несохранения четности в атоме водоро-

да служит тот факт, что они могут дать более полную информацию об общей структуре слабых взаимодействий, которую труднее получить в экспериментах с более тяжелыми атомами.

И наконец, для водорода можно провести гораздо более точные и достоверные вычисления, чем для тяжелых атомов. Это обусловлено простым строением атома водорода, у которого

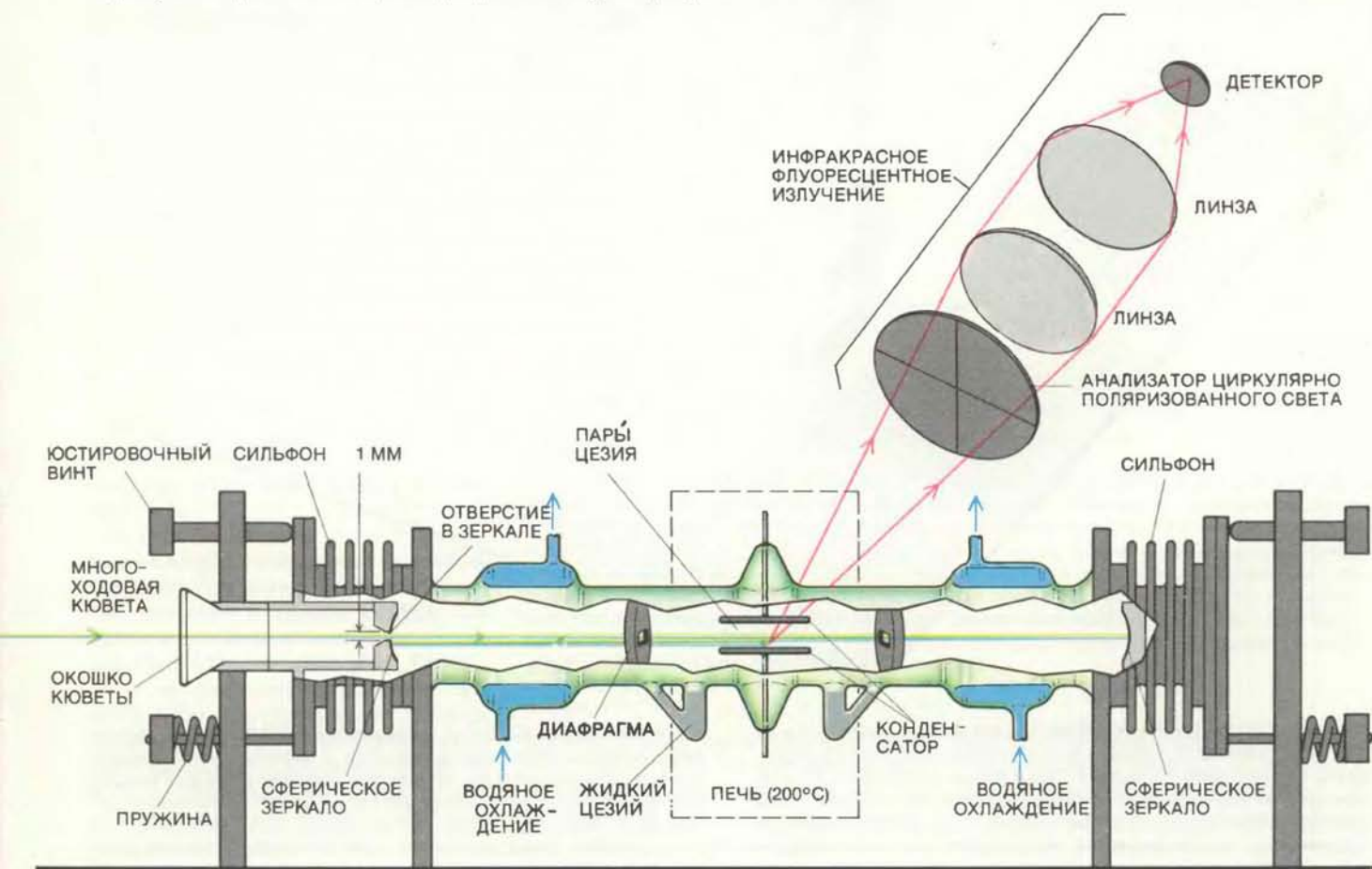
на орбите вращается лишь один электрон, а ядро состоит из одного-единственного протона. Ученые из Мичиганского, Вашингтонского (г. Сиэтл) и Йельского университетов уже начали проводить измерения, но пока их методы недостаточно чувствительны для проверки теории электрослабых взаимодействий.

К третьей категории относятся сле-



ски меняется во времени. Поляризация выходного луча (с) может быть разложена на круговую (а) и линейную (b) компоненты, которые осциллируют с одинаковой частотой, но сдвинуты по фазе на четверть периода. Поэтому, когда од-

на из компонент исчезает, другая достигает максимума. Кроме того, линейная компонента вращается, но частота вращения отличается от частоты этих осцилляций.



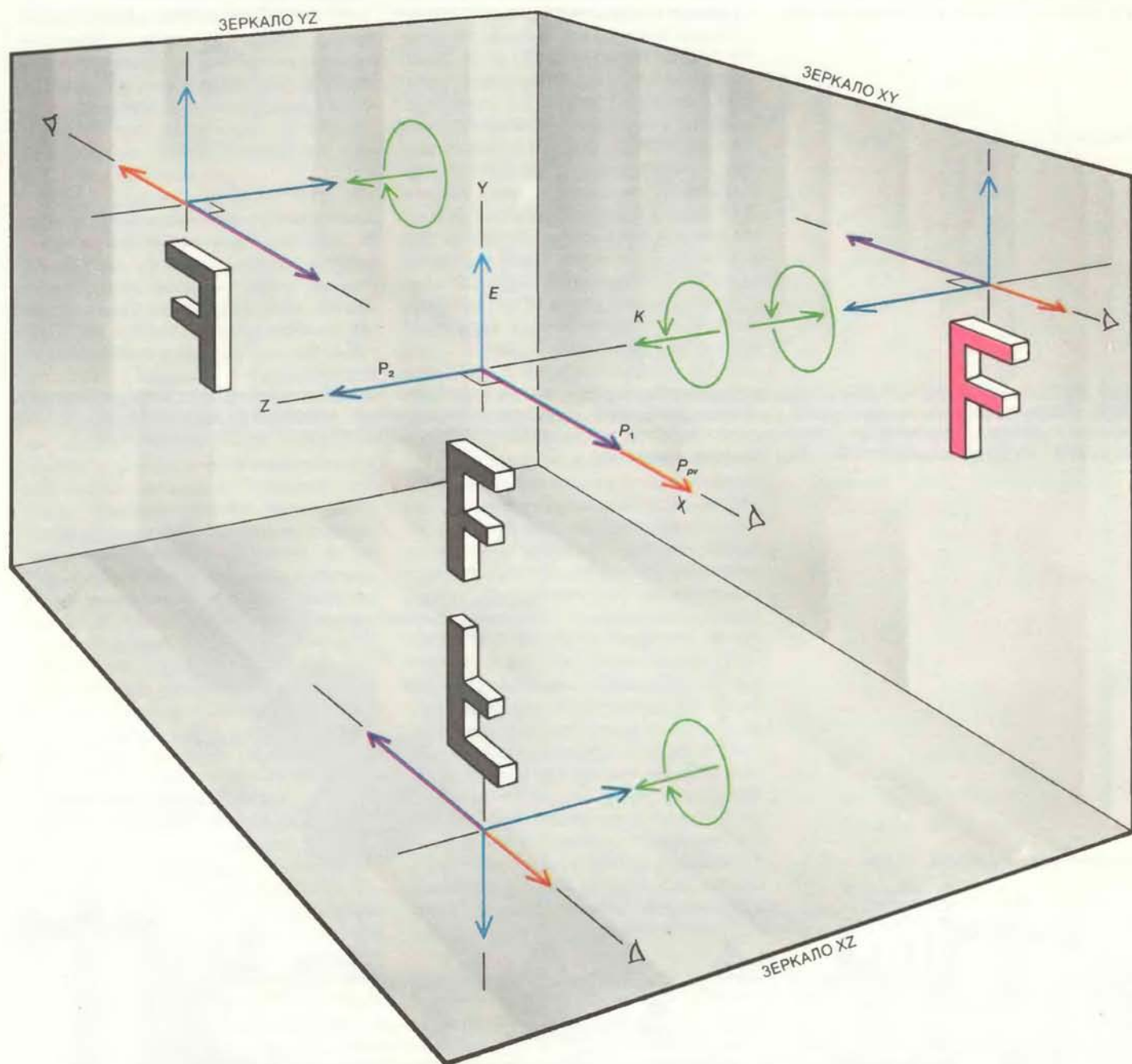
ник излучения — лазер с поляризационным модулятором, который формирует луч монохроматического зеленого света с плавно меняющейся поляризацией. Луч направляется в многоходовую кювету и примерно 100 раз проходит через пары цезия. Под действием излучения небольшая часть атомов возбуждается, переходя в состояние с более высокой энергией. Возбужденные атомы оказываются спин-поляри-

зованными. При возвращении на уровень с более низкой энергией атомы испускают инфракрасное флуоресцентное излучение, которое регистрируется и анализируется детектирующей системой. Чтобы избежать потерь интенсивности луча на окнах ячейки, зеркала помещены внутри ее. Зеркала защищены от воздействия паров цезия специальным покрытием — газообразным гелием, охлаждаемым водой.

дующие работы: два опыта с атомами цезия, выполненные в Высшей нормальной школе нами совместно с нашими сотрудниками Жослин Гуэна и Л. Хантером, эксперимент с атомами таллия Ю. Комминса и его коллег из Калифорнийского университета в Бер-

кли и эксперименты с атомами цезия, которые ставятся сейчас в Мичиганском университете и Федеральном технологическом институте в Цюрихе. Во всех этих экспериментах часть газообразных атомов возбуждается лучом лазера до состояний с более высокой

энергией. При этом в исследуемой системе создается определенная выделенность «правого» или «левого». Переходя в более низкое энергетическое состояние, атомы испускают свет. Поляризационные свойства этого флуоресцентного излучения регистрируются.



СПИН ВОЗБУЖДЕННЫХ АТОМОВ газа можно разложить на три компоненты: P_1 (фиолетовая стрелка), P_2 (синяя стрелка) и P_{pv} (красная стрелка). Появление компонент P_1 и P_2 полностью обусловлено электромагнитными силами. Если данную физическую систему заменить ее зеркальным изображением, то направления обеих компонент и их изображений будут одинаковыми. Компонента P_{pv} , по величине во много раз меньшая двух других, возникает из-за интерференции слабых и электромагнитных взаимодействий и приводит к несохранению четности. Когда исследуемая физическая система заменяется ее зеркальным отражением, компонента P_{pv} заменяется на стрелку, направление которой противоположно направлению зеркального отражения аксиального вектора. Другими словами, компонента P_{pv} ведет себя так, как вел бы истинный вектор в случае сохра-

нения четности. Степень циркулярной поляризации флуоресцентного излучения вдоль оси X зависит от проекции полного спина системы на эту ось; она различна для исходной физической системы (в центре) и для ее зеркального отражения. Винтовые свойства исходной системы зависят от направления электрического поля E (голубая стрелка), направления лазерного луча K (зеленая стрелка) и направления его круговой поляризации. Соответствующее изменение одной или двух из этих величин на обратные эквивалентно зеркальному отражению относительно одной из трех показанных на рисунке плоскостей. С помощью изображения буквы F продемонстрировано, каким образом каждое такое отражение изменяет исходные экспериментальные условия.

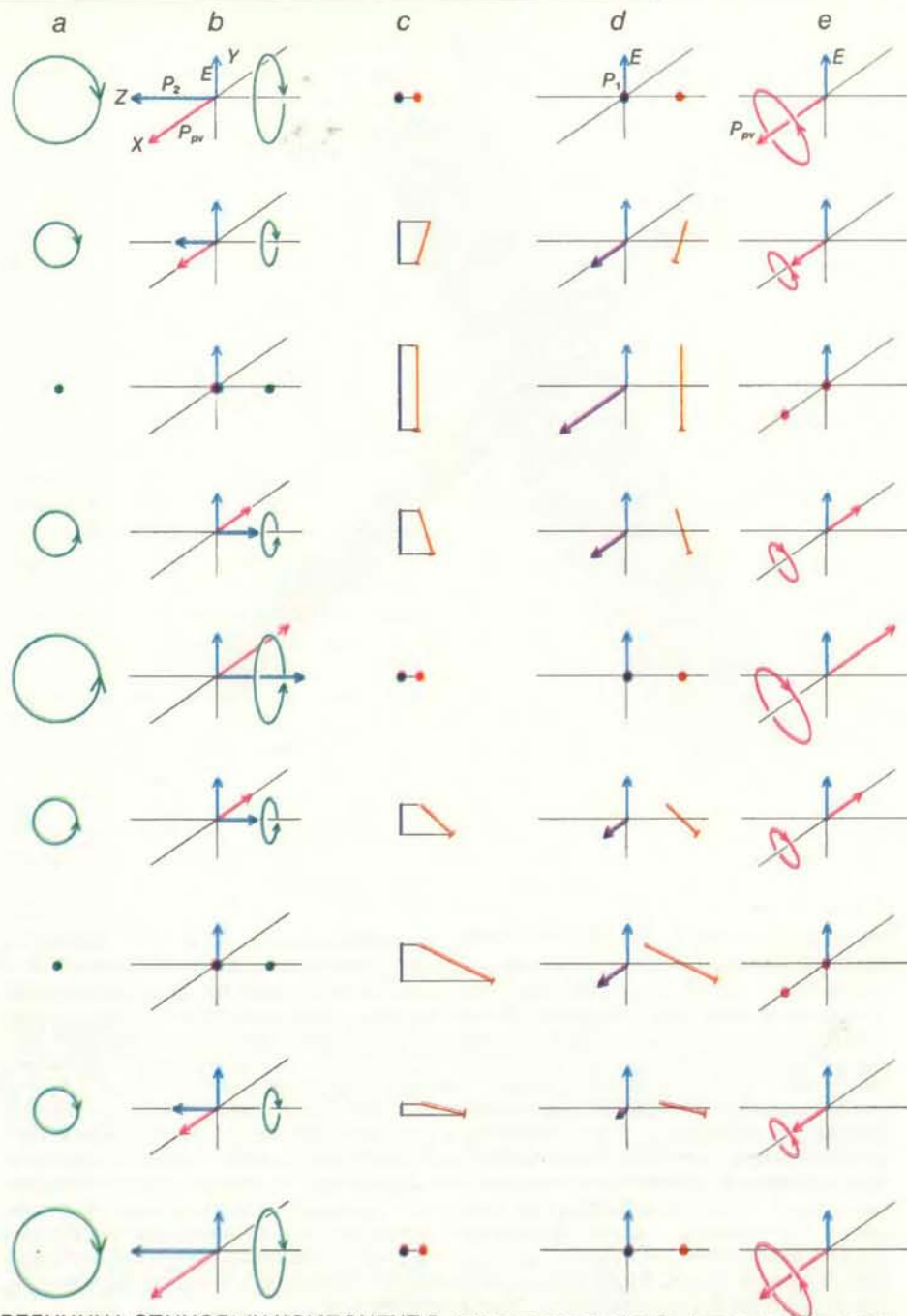
Затем физическая система заменяется на новую, идентичную зеркальному отражению первой. Например, изменяются направление электрического поля или направление круговой поляризации падающего луча лазера. После этого производится повторное измерение характеристик флуоресцентного излучения атомов. Если второе измерение не соответствует зеркальному отражению первого, то это служит доказательством нарушения четности в атомах.

Может показаться, что такая постановка опытов, когда приходится иметь дело с переходом между двумя уровнями энергии, необоснованно усложнена по сравнению с измерением некоторых характеристик одиночных уровней. Однако эффекты слабых взаимодействий, которые мы регистрируем, происходят в течение короткого периода времени, когда атом осциллирует между нижним и верхним энергетическими состояниями, прежде чем «успокоиться» на относительно длительное время в более высоком состоянии. Возбужденный атом как бы несет на себе печать слабых взаимодействий, проявляемых во время этих осцилляций.

ПРИ ПОИСКЕ эффектов слабого взаимодействия необходимо снизить влияние электромагнитных сил, поскольку на их фоне может систематически теряться несохранение четности. Практически это можно осуществить, если исследовать «запрещенные» атомные переходы. Переход между двумя энергетическими уровнями считается запрещенным, если он происходит (как результат действия электромагнитных сил) с очень небольшой вероятностью. Соответственно для сильно запрещенных переходов относительное влияние слабых взаимодействий по сравнению с электромагнитными существенно возрастает. Однако даже в этом случае электромагнитные взаимодействия все еще гораздо сильнее слабых взаимодействий.

В 1981 г. Комминс и его группа в Беркли впервые наблюдали нарушение четности, используя сильно запрещенные переходы в атомах таллия. Погрешность экспериментального результата была порядка 30%. Однако из-за сложной структуры атома таллия ожидаемое теоретическое значение несохранения четности также могло быть вычислено с вероятной ошибкой 30%. В пределах точности эксперимента и теоретических неопределенностей измеренное и вычисленное значения согласуются друг с другом.

Для наших экспериментов мы выбрали цезий, так как необходимые расчеты его атомной структуры более надежны. Цезий, как и другие атомы в той же группе периодической таблицы, имеет лишь один электрон на внешней оболочке. Оставшиеся 54 электрона

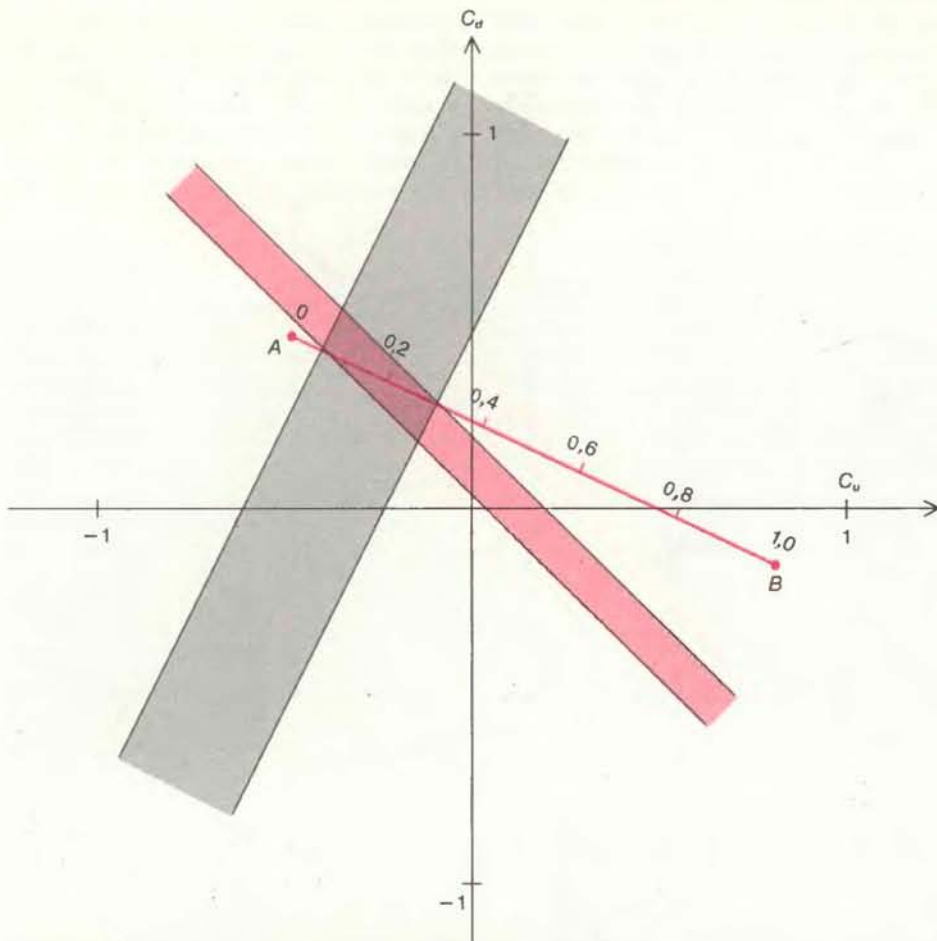


ВЕЛИЧИНА СПИНОВЫХ КОМПОНЕНТ P_2 (синяя стрелка) и P_{pv} (красная стрелка) (b) пропорциональна относительной доле той части падающего лазерного излучения, которая имеет круговую поляризацию (показано зеленым цветом) (a). Величина спиновой компоненты P_1 (фиолетовая стрелка) (d) пропорциональна проекции вектора линейной поляризации лазерного луча (оранжевая стрелка) на направление электрического поля (c). Сигнал поступает от циркулярно поляризованного флуоресцентного излучения (показано красным цветом), наблюдаемого вдоль оси X. Именно эта часть излучения пропорциональна доле лазерного излучения, имеющего круговую поляризацию (e).

связаны относительно прочно и образуют своего рода электронный остов, который подобен атому инертного газа. Поэтому для упрощения вычислений влиянием этого остова на движение внешнего электрона можно пренебречь. Более того, цезий имеет довольно большой атомный номер, и поэтому экспериментатор может воспользоваться усилением эффектов несохранения четности за счет большого значения куба атомного номера. Однако для цезия это усиление почти в 10 раз меньше, чем

для висмута, свинца и таллия. Цезий — простейший из тяжелых атомов и самый тяжелый из простых атомов.

В нашем эксперименте атомы цезия образуют атомарный газ при испарении жидкого металла внутри запаянной стеклянной кюветы. Они подогреваются приблизительно до 200°C и подвергаются воздействию электрического поля между параллельными заряженными пластинами конденсатора. Электрическое поле искажает форму каждого атома цезия, превращая его в



РЕЗУЛЬТАТЫ ДВУХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ по измерению несохранения четности, представленные на одном графике. По оси C_u отложен слабый заряд кварка u , а по оси C_d — слабый заряд кварка d . Возможные значения этих двух зарядов, согласно выполненному в Станфорде эксперименту, должны лежать в пределах полосы (показана серым цветом). Эксперимент с атомами при низких энергиях, выполненный авторами статьи совместно с коллегами, дает другие возможные значения для этих зарядов: они должны лежать в пределах цветной полосы, почти перпендикулярной первой. Одновременный учет этих результатов приводит к жестким ограничениям на значения C_u и C_d . Значения, предсказываемые в стандартной теории электрослабых взаимодействий, изображены точкой на цветном отрезке прямой. Однако сама эта точка не определяется теорией однозначно, поскольку ее положение зависит от значения некоторого свободного, т.е. произвольного, параметра теории. Как видно из графика, стандартная теория согласуется со значениями, лежащими в области пересечения обеих полос, если свободный параметр теории приблизительно равен 0,2. Результаты всех экспериментов, где определялся этот параметр, дали значение 0,23.

подобие маленькой антенны: положительный заряд накапливается на одном конце атома, а отрицательный — на другом. Такая «атомная антенна» может резонировать при электромагнитных колебаниях лазерного излучения.

Однако колебания атомов цезия вызываются не только электромагнитными полями. В дополнение к созданной «электромагнитной антенне» атом имеет и вторую, гораздо менее чувствительную антенну, связанную со слабыми взаимодействиями. Когда антенны «принимают» сигналы от резонансных колебаний, они могут поглощать энергию лазерного луча. Поглощенная энергия не равна простой сумме энергий, которые поглотила бы каждая антенна, работая отдельно. Полная поглощенная энергия зависит от интерференции между двумя принимаемыми

сигналами. Результирующий сигнал, «извещающий» о несохранении четности в нашем эксперименте, зависит от величины интерференции.

Подобно тому как вращающийся волчок имеет угловой момент, каждый электрон имеет спин. Угловой момент является аксиальным вектором и обычно изображается стрелкой, направленной вдоль оси вращающегося объекта. Другими словами, вектор углового момента перпендикулярен плоскости вращения. Направление аксиального вектора определяется по так называемому правилу правой руки: аксиальной вектор указывает в том же направлении, что и большой палец правой руки, когда остальные пальцы согнуты в направлении вращения. Заметим, что это правило является условным, но общепринятым соглашением. В соответ-

ствии с правилом правой руки спин электрона, испущенного в процессе бета-распада, направлен противоположно движению электрона.

Слабые взаимодействия искажают электронные орбиты таким образом, что спин электрона подстраивается по направлению его скорости. В результате оказывается, что атомная антенна, настроенная на слабые взаимодействия, направлена вдоль спина электрона. В атомарном газе аксиальные векторы спинов электронов расположены случайным образом, так что средний спин равен нулю. Первоначально то же имеет место в нашем эксперименте для электронов атомов цезия, помещенных в электрическое поле. Однако направление атомных антенн, настроенных на электромагнитные взаимодействия, зависит от направления электрического поля конденсатора. Интерференция сигналов, принимаемых обеими антеннами, зависит от угла между ними. В свою очередь этот угол зависит от направления электрического поля, направления и поляризации лазерного луча, который управляет колебаниями в антеннах, и направления спинов электронов. Поскольку спины направлены случайным образом, а электрическое поле и лазерный луч — нет, то атомы, у которых спины ориентированы в определенном направлении, с большей вероятностью могут возбудиться под действием лазерного излучения и перейти в более высокое энергетическое состояние. В результате возбужденные атомы окажутся поляризованными: их спины направлены уже не случайным образом. Другими словами, средний спин системы отличен от нуля и имеет определенное направление.

АКСИАЛЬНЫЙ вектор, соответствующий полному спину атомов в возбужденном состоянии, можно разложить на три компоненты (см. рисунок на с. 50). Две компоненты, обозначенные P_1 и P_2 , перпендикулярны друг другу и направлению электрического поля; они полностью обусловлены электромагнитными силами. Третья компонента возникает из-за интерференции между электромагнитными и слабыми взаимодействиями. Эту компоненту мы обозначим P_{pv} , поскольку она приводит к нарушению четности (англ. parity violation). Компонента P_{pv} направлена вдоль той же оси, что и компонента P_1 .

Для возбужденного атома переход в исходное энергетическое состояние запрещен, однако возможен переход в некоторое промежуточное энергетическое состояние. В этом процессе атом испускает фотон инфракрасного излучения, энергия которого равна разности энергий возбужденного и промежуточного состояний. Поскольку угловой момент системы должен сохраняться,

испускаемый фотон «уносит» часть углового момента вращающегося атома. Другими словами, часть спиновой поляризации возбужденных атомов превращается в поляризацию флуоресцентного излучения. Зная свойства этого излучения, можно судить о спиновой поляризации атомов. Степень круговой поляризации флуоресцентного излучения, испускаемого в данном направлении, пропорциональна величине компоненты атомного спина в этом же направлении. Измеряя степень круговой поляризации флуоресцентного излучения вдоль направления двух спиновых компонент P_1 и P_{pv} , можно найти сумму этих компонент.

Нас интересовала главным образом величина компоненты P_{pv} . Но как определить ее независимо от компоненты P_1 , направленной вдоль той же оси? Чем отличаются компоненты P_1 , P_2 и P_{pv} ? Чтобы ответить на эти вопросы, надо рассмотреть отражение аксиального вектора в зеркале.

Если посмотреть на вращающийся диск в зеркало, расположенное параллельно оси вращения, то можно заметить, что диск и его зеркальное изображение вращаются в противоположные стороны. Когда зеркало перпендикулярно оси диска, и диск и его зеркальное отражение вращаются в одном направлении. Так как аксиальный вектор направлен вдоль оси вращения, то отражение в зеркале, параллельном этой оси, изменяет его направление на обратное. Отражение аксиального вектора в зеркале, перпендикулярном оси вращения, оставляет его направление неизменным. Такие преобразования противоположны преобразованиям обычного вектора при операциях зеркального отражения (см. рисунки на с. 45).

Теперь можно кратко охарактеризовать разницу между компонентами P_1 и P_{pv} . Когда физическая система, имеющая спиновую компоненту P_1 , заменяется ее зеркальным отражением, направление новой компоненты P_1 связано с направлением прежней теми же закономерностями, что и аксиальный вектор, и его зеркальное изображение. Другими словами, аксиальный вектор, соответствующий спиновой компоненте P_1 рассматриваемой системы, отражается именно таким образом, как он должен отражаться при сохранении четности. Напротив, если сравнить компоненту P_{pv} и ее зеркальное изображение, то можно убедиться, что эта компонента при отражении ведет себя противоположным образом. Поскольку компонента P_{pv} связана силами, не сохраняющими четность, она ведет себя подобно истинному вектору при сохранении четности в эксперименте.

СУЩЕСТВУЮТ разные способы измерения спиновых компонент P_1 , P_2 и P_{pv} . Их величина и направление зави-

сят от поляризации возбуждающего излучения лазера, поэтому стоит проанализировать, каким образом создается поляризация луча лазера. Прежде чем луч достигнет паров цезия, он проходит через устройство, называемое поляризационным модулятором. Поляризация излучения, выходящего из модулятора, периодически меняется во времени, так что свет с правой круговой поляризацией превращается в линейно поляризованный, а затем приобретает левую круговую поляризацию и т. д. в обратном порядке. Направление линейной поляризации непрерывно вращается, причем период этого вращения отличен от периода осцилляций между состояниями с правой и левой круговой поляризацией (см. рисунок вверху на с. 48, 49). Важно отметить, что круговая поляризация падающего лазерного луча создает некую выделенность «правого» (или «левого») в данной системе. Напомним, что вектор электрического поля лазерного излучения движется по кругу, в то время как сам световой луч движется вперед, так что конец вектора описывает право- или левовинтовую спираль. Осцилляции между состояниями света с правой и левой круговой поляризацией — один из способов обращения выделенности свойств правого и левого в рассматриваемой физической системе.

Такие модуляции луча лазера определенным образом изменяют спиновые компоненты исследуемого атомарного газа, поэтому их можно использовать для идентификации этих компонент. Обе компоненты P_2 и P_{pv} пропорциональны степени круговой поляризации падающего луча; они модулируются периодическим изменением этой поляризации. Компонента P_1 пропорциональна проекции линейной поляризации луча на ось, параллельную электрическому полю. Из-за вращения плоскости линейной поляризации частота модуляции компоненты P_1 совсем иная, чем для компонент P_2 и P_{pv} (см. рисунок на с. 51).

ЕСТЬ ТРИ простых способа замены физической системы в нашем эксперименте ее зеркальным изображением. Каждый из способов эквивалентен отражению системы относительно одной из трех взаимно перпендикулярных плоскостей. Первый способ, как мы уже видели, связан с тем, что поляризационный модулятор может обратить круговую поляризацию луча, оставив неизменными направления распространения луча и электрического поля. Такое обращение соответствует отражению в зеркале, которое перпендикулярно компонентам P_1 и P_{pv} . При втором способе могут быть обращены как круговая поляризация, так и направление электрического поля, создаваемого конденсатором. Это соответствует от-

ражению в зеркале, перпендикулярном направлению электрического поля. Третий способ — изменение направления луча лазера на обратное при неизменных направлениях электрического поля конденсатора и вращения вектора электрического поля лазерного излучения. Обращение направления распространения луча лазера меняет «правое» на «левое» в лазерном излучении и поэтому соответствует отражению в зеркале, расположенном перпендикулярно лучу.

На практике мы с помощью двух сферических зеркал постоянно изменяли направление луча лазера. Каждое зеркало помещено на концах стеклянной кюветы, в которой находятся пары цезия. Луч лазера примерно 50 — 60 раз проходит между зеркалами, прежде чем ему удастся ускользнуть через входное отверстие в одном из них. Сигнал о нарушении четности усиливается почти пропорционально числу таких проходов луча. Это одно из преимуществ данной схемы эксперимента. В то же время компонента P_1 , которую мы не рассматривали, меняет направление при каждом проходе луча, так что при их большом числе среднее значение P_1 стремится к нулю. Но даже при этом, хотя спиновая компонента P_1 уменьшается в 200—2000 раз, ее нельзя полностью не учитывать, поскольку она остается примерно в 10—100 раз больше, чем компонента P_{pv} .

Мы затратили значительные усилия для анализа, снижения и контроля систематических эффектов. Вообще говоря, любое несовершенство в геометрии установки или при замене «левого» на «правое» в эксперименте может приводить к систематическим ошибкам. Например, при обращении круговой поляризации лазерного излучения с помощью модулятора должны оставаться неизменными прочие его характеристики, такие, как интенсивность и степень линейной поляризации. Паразитное неконтролируемое изменение этих характеристик всего лишь на 1% достаточно для имитации эффекта несохранения четности. Проблема состоит в том, что для существующих поляризационных модуляторов паразитные эффекты обычно достигают нескольких процентов. Для преодоления этой трудности мы разработали новый тип модулятора, который гарантирует «чистое» обращение поляризации, без изменения других характеристик луча, с относительной точностью 10^{-4} .

Еще одна трудность, также приводящая к систематическим ошибкам, связана с несовершенством зеркал, которые могут слегка изменять поляризацию луча при его отражении. Это явление также может имитировать несохранение четности. Ни одно готовое зеркало не удовлетворяет необходимой для нас средней точностью, поэто-

му пришлось заниматься сортировкой, просто подбирая пару одинаковых зеркал. Два подходящих зеркала мы нашли среди набора из 20 зеркал. После установки зеркал мы время от времени поворачивали одно из них на 90° (поворот производился в плоскости зеркала). Такая периодическая корректировка изменяет знак любых систематических эффектов, которые могут иметь место при отражении от зеркал, и в среднем уменьшает их.

СУЩЕСТВУЕТ много других потенциальных источников систематических ошибок, таких, как паразитные электрические поля или неточное обращение луча в стеклянной кювете, которые тоже надо было оценить. Мы измеряли такие помехи, используя в качестве индикаторов сами атомы. На основе полученных данных была создана теоретическая модель, которая дает количественную оценку возможных систематических эффектов. Эта оценка играет решающую роль при определении достоверности измерений. Наши попытки понять и проконтролировать возможные источники систематических ошибок заняли более трех лет. Целью этой работы являлось уменьшение всех возможных систематических ошибок, до значений, составляющих несколько процентов измеряемой величины. Поскольку мы достигли этой цели, не было необходимости вносить сколько-нибудь существенные поправки в необработанные данные измерений по несохранению четности.

Для устранения непредвиденных систематических эффектов, не учтенных в теоретической модели, оставался единственный реалистический подход: убедиться, что полученные в эксперименте данные удовлетворяют всем необходимым с точки зрения здравого смысла условиям. Оказалось, например, что сигнал о нарушении четности в нашем эксперименте подается одновременно по двум независимым каналам, которые связаны с двумя разными частотами модуляции. Мы проверили, согласуются ли эти сигналы между собой. Кроме того, при выполнении эксперимента мы провели два контрольных измерения в ситуациях, когда эффект несохранения четности должен был заведомо отсутствовать. Как и ожидалось, оба полученных результата действительно указывали на отсутствие нарушения четности. Были также произведены статистические проверки, благодаря которым удалось установить, что отсутствуют нежелательные корреляции. Наконец, в самом разгаре процесса набора данных мы вдруг сообразили, что две вращающиеся пластины, являющиеся частью поляризационного модулятора, могут также привести к эффектам, имитирующим нарушение четности. При получе-

нии последующего массива данных направления вращения пластин были изменены, но результаты до и после замены согласовались друг с другом.

Для калибровки измерений спиновой поляризации большая компонента P_2 измерялась с помощью той же аппаратуры, что и компонента P_{pv} . На короткое время включалось магнитное поле, направленное параллельно электрическому полю. Магнитное поле вращает компоненту P_2 таким образом, что она может определяться в том же направлении, что и компонента P_{pv} . На самом деле мы измеряли отношение P_{pv} к P_2 ; по порядку величины оно оказалось равным 10^{-5} . Это отношение соответствует асимметрии между «правым» и «левым»; оно является аналогом небольшого угла оптического вращения, обнаруженного в экспериментах с висмутом. Поскольку значение P_2 известно из независимых спектроскопических наблюдений, величину P_{pv} можно вычислить из измеренного отношения P_{pv} к P_2 .

С учетом погрешностей эксперимента и теоретических вычислений наши первые результаты прекрасно согласуются с теорией Вайнберга — Салама. Статистическая погрешность составляет 16%, а систематические ошибки эксперимента — 8%. К. Бушья с коллегами вычислил предсказываемое теорией несохранение четности с погрешностью, меньшей 15%.

В прошлом году мы проверили этот результат в модифицированном эксперименте с атомами цезия. Два варианта выполненных нами экспериментов отличаются относительной ориентацией электронных и ядерных спинов в атомах, возбужденных лазерным излучением. Это практически ничтожное отличие может в принципе привести к большим расхождениям результатов. В этих двух вариантах несохранение четности определяется по различным физическим величинам, так что большая часть оценок потенциальных систематических ошибок основана на совершенно разных измерениях. Тем не менее оба экспериментальных результата имеют почти одинаковую точность; они согласуются между собой, равно как и с теоретически предсказанным значением, которое лежит между ними. Если усреднить оба полученных результата, то статистическая погрешность измерений уменьшится с 16 до 11%; систематическая погрешность останется прежней — 8%.

В ЭКСПЕРИМЕНТАХ мы получили согласие с теорией, которая теперь считается стандартной. Несмотря на это, полезно дать нашим результатам интерпретацию, независимую от теоретических предположений. В тяжелых атомах рассматриваемые слабые силы между электроном и ядром пропорцио-

нальны слабому ядерному заряду, который равен сумме слабых зарядов всех частиц, составляющих ядро. Ядро построено из протонов и нейтронов, которые в свою очередь состоят из кварков u и d . В эксперименте, подобном нашему, определяется слабый заряд ядра, но из него невозможно получить информацию о слабых зарядах самих кварков. Вместо этого он позволяет установить соотношение между возможными значениями слабых зарядов кварков. Если на двух взаимно перпендикулярных осях отложить значения слабых зарядов кварков, то точка, соответствующая их истинным зарядам, должна лежать на некоторой прямой. Экспериментальные измерения слабых зарядов ядер позволяют установить только положение этой прямой, но не саму точку.

На этом же графике можно изобразить данные экспериментов, выполненных при высоких энергиях в Стэнфордском ускорительном центре (SLAC). Этим результатом соответствует другое линейное соотношение. Если объединить результаты станфордского и нашего экспериментов, то слабые заряды кварков можно найти из пересечения двух полученных прямых. Поэтому в принципе заряды кварков можно найти экспериментально. На самом деле из-за экспериментальных и теоретических погрешностей полученные значения заключены в полосах конечной ширины. И все же в область пересечения этих полос попадает лишь небольшая часть возможных значений зарядов. Полученная таким путем область значений, в сущности, не зависит от теоретических предположений, однако она также согласуется с предсказаниями теории Вайнберга — Салама.

Использование результатов двух совершенно различных экспериментов для определенных выводов, которые не могут быть получены в каждом отдельном опыте, иллюстрирует, насколько здесь органична взаимодополняемость различных подходов. Каждый из этих сложных экспериментов, о которых мы рассказали, вызвал к жизни множество технических проблем. Эволюцию процесса возникновения и решения этих проблем нельзя было ни предвидеть заранее, ни сознательно направлять. Тот факт, что использовались различные методы и соревновались несколько групп ученых, сам по себе уже является важным стимулом. Это дает также серьезные гарантии против получения ошибочных результатов. Принимая во внимание интерес к данным исследованиям, хочется надеяться, что в экспериментах, находящихся сейчас в стадии постановки (несмотря на все трудности подобных исследований), удастся достичь более высокой точности и получить новую информацию о слабых взаимодействиях.

Издательство МИР предлагает:

Джохансон Д., Иди М.

ЛЮСИ

Истоки рода человеческого

Перевод с английского



Содержание: История великих открытий в области палеоантропологии, начиная с открытия питекантропа в 1891 г. и до наших дней. Находки костных остатков ископаемых гоминид в Южной и Восточной Африке. Является ли *Homo habilis* самым первым человеком? Обстоятельства открытия «Люси», геологические и стратиграфические условия местонахождения, методы опреде-

ления возраста находки. «Люси» — совершенно новый вид австралопитека («австралопитек афарский»). Дискуссия по поводу открытия «Люси» и основных выводов Джохансона.

Книга предназначена для антропологов, археологов, историков и всех лиц, интересующихся проблемой происхождения человека.

1984, 28 л. Цена 1 р. 90 к.





МАТОЧНЫЙ ХОД, прогрызенный самкой псевдотсугового лубоеда в коре дерева; от него горизонтально отходят ходы, сделанные питающимися личинками. Весной самка лубоеда выбирает дерево и начинает прокладывать ход через флоэму. К ней присоединяется самец, и они несколько раз спариваются, после каждого спаривания самка откладыва-

ет яйца в ниши по обеим сторонам хода. Из яиц вылупляются личинки. Они уходят в стороны от маточного хода и превращаются в куколок, а те — в имаго, которые проводят зиму в дереве и появляются на свет в апреле. На этой фотографии, сделанной М. Фернисом (Университет шт. Айдахо), верхний слой коры удален.

Акустические и химические сигналы в жизненном цикле жука

Сложное взаимодействие акустических и химических сигналов дает возможность псевдотсуговому лубоеду привлекать партнера для спаривания, отпугивать агрессоров и регулировать плотность своей популяции

ЛИ К. РАЙКЕР

КАЖДУЮ весну в хвойных лесах западной части Североамериканского континента возобновляется «война» между псевдотсугой — деревом, которое достигает почти 100 м в высоту, и одним из главных его врагов — псевдотсуговым лубоедом, жучком длиной менее 1 см. В первые теплые дни апреля лубоеды покидают деревья, где они провели зиму, и разлетаются на поиски новых деревьев-хозяев. Обычно жуки выбирают деревья либо поврежденные ветром, либо пораженные засухой или болезнью. Отыскав такое «испорченное» дерево, насекомые устремляются в атаку, которая при всей ее быстроте отлично организована. В один день тысячи жуков внедряются в кору облюбованного ими дерева и полностью выводят из строя его систему химической защиты.

Самка псевдотсугового лубоеда проделывает туннель, называемый маточным ходом, во внутренней части коры, богатой питательными веществами, на границе с заболонью — наружными слоями древесины. В маточном ходу самка будет откладывать яйца. Пока она выгрызает ход, к ней присоединяется самец, и в течение некоторого времени они неоднократно спариваются. Оплодотворенные яйца самка откладывает в нишах по обе стороны маточного хода. Из яиц вылупляются личинки кремового цвета, в дальнейшем они линяют и превращаются в куколок. Весь метаморфоз происходит в древесной коре. Из куколок выходят взрослые жуки, которые покидают дерево, вылезая на поверхность через искусно просверленные выходные отверстия.

Псевдотсуга Дагласа* — ценная дре-

весная порода, дающая множество пиломатериалов. Псевдотсуговый лубоед уже давно наносит ей существенный ущерб; дело усугубляется тем, что его разрушительная деятельность протекает главным образом в довольно труднодоступных районах, где нет возможности вовремя, до начала гниения убирать мертвые деревья. По практическим соображениям, а также из чисто научного интереса были проведены исследования, в которых особое внимание уделялось жизненному циклу жука. В результате было показано, что нападение на дерево-хозяина, агрессивные взаимоотношения особей, ухаживание и спаривание, а также плотность популяции жуков на дереве регулируются химическими сигналами (феромонами) и акустическими сигналами («пением»). Для нормального протекания жизненного цикла жука необходимо, чтобы сигналы обоих типов подавались в нужных комбинациях и в определенной последовательности.

При исследовании способов коммуникаций у псевдотсугового лубоеда выяснился удивительный факт: оказалось, что одно и то же вещество может вызывать у жука несколько различных реакций. Речь идет о метилциклогексеноне (МЦГ), обладающем свойствами феромона. Реакция на МЦГ, присутствующий в смеси разных веществ, может выражаться в том, что жуки скапливаются на коре дерева или, наоборот, отказываются сближаться друг с другом; в ответ на МЦГ жук-самец может атаковать другого самца или же, напротив, начать ухаживание за самкой, которое закончится спариванием. Какая реакция возобладает, зависит от концентрации феромона и обстоятельств, при которых он выделяется. Расшифровка этих сигнальных механизмов могла бы принести большую пользу при разработке способов снижения экономического ущерба от псевдотсугового лубоеда. Выяснить особенности коммуникации у жуков интересно и само по себе: это прекрасный пример того, как широко могут варьировать реакции живого организ-

ма на то или иное воздействие в зависимости от обстоятельств.

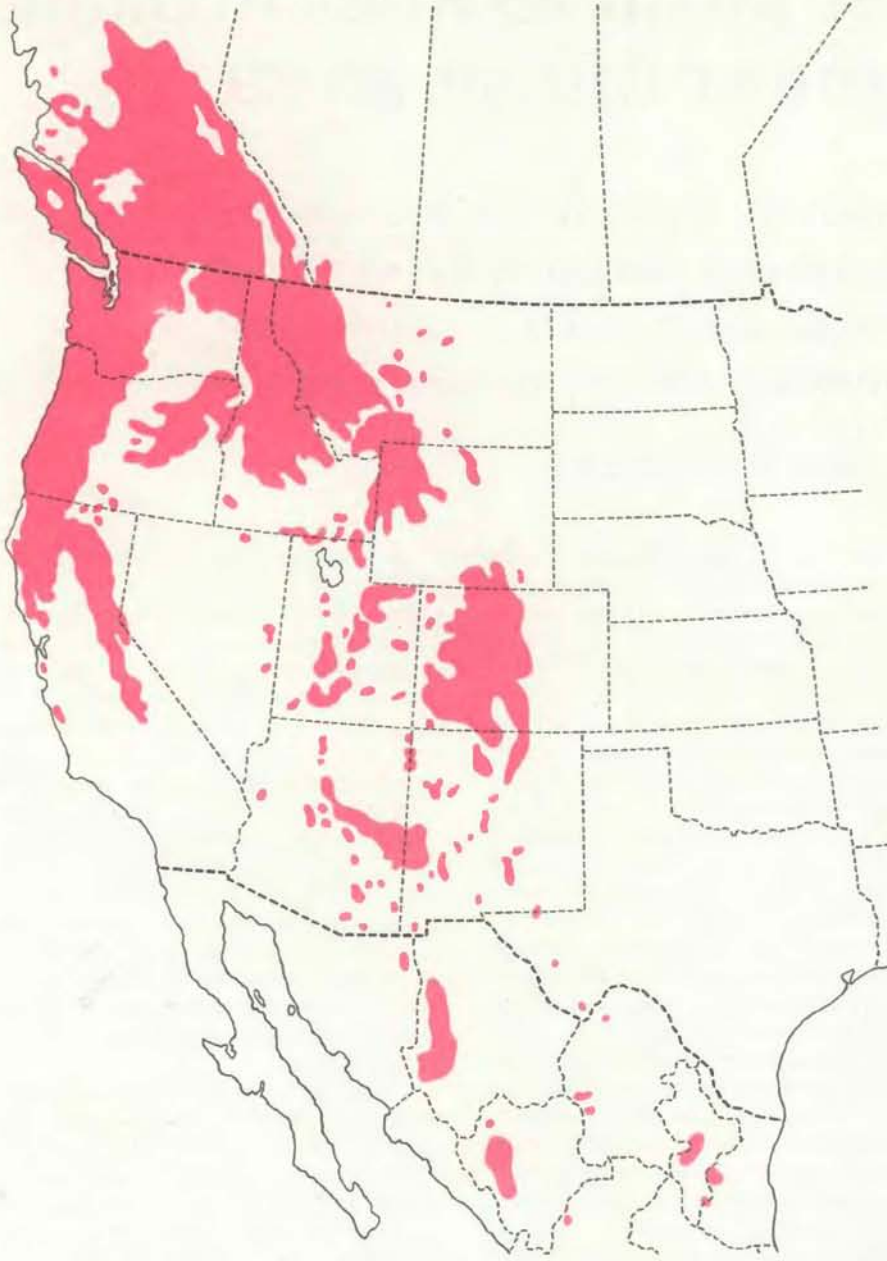
ПСЕВДОТСУГОВЫЙ лубоед *Dendroctonus pseudotsugae* Hopkins — один из наиболее изученных среди более чем 300 тыс. видов жуков, описанных энтомологами. Потребовалось 20 с лишним лет, чтобы разобраться в особенностях коммуникационного поведения лубоедов; наибольшая заслуга в этом принадлежит покойному Дж. Рудинскому, работавшему в Университете шт. Орегон. Когда Рудинский начинал исследования, было уже известно, что губительному эффекту деятельности лубоедов способствует другой организм, носящий название грибок синевы древесины, который переносится на теле самки жука.

Самка, прогрызая маточный ход для откладки яиц, заражает древесину этим грибком. За короткий срок грибок прорастает в трахеиды — водопродвижные каналы дерева и закупоривает их. Трахеиды расположены в древесине вертикально, и в норме с их помощью создается давление, необходимое для перекачки смолы по смоляным каналам, расходящимся горизонтально от центра древесного ствола.

Смола — это основное средство химической защиты у псевдотсуги Дагласа. Когда смола заполняет проделанный самкой ход, жуки погибают, захлебнувшись в этой клейкой массе. Но если регуляция давления в трахеидах нарушена, смола не может попасть в маточные ходы. Таким образом, грибок помогает жуку, обезвреживая защитные приспособления дерева-хозяина. Дерево гибнет в результате совместной деятельности двух организмов: грибок блокирует водопродвижную систему, а жук уничтожает флоэму, по которой осуществляется транспорт питательных веществ.

Насекомые стремятся выбирать для заселения уже поврежденные деревья, ускоряя этим их гибель. В 1963 г. Рудинский показал, что лубоеды способны находить в чаще леса поврежденные или спиленные деревья. Срезы свежеспиленных стволов псевдотсуги прив-

* Псевдотсуга Дагласа (*Pseudotsuga douglasii*) — один из синонимов псевдотсуги Мензиса (*P. menziesii*). Используемое автором латинское название *P. taxifolia* в подписи под одним из рисунков также является синонимом *P. menziesii*. Лесоводы и садоводы употребляют такие названия, как «дугласова пихта» и «дугласия». Псевдотсуга Мензиса была символом XI Международного ботанического конгресса, состоявшегося в 1969 г. в г. Сиэтл (шт. Вашингтон). — Прим. перев.



ПСЕВДОТСУГА ДАГЛАСА (*Pseudotsuga taxifolia*) достигает 100 м в высоту и 5 м в обхвате. Кора зрелого дерева около

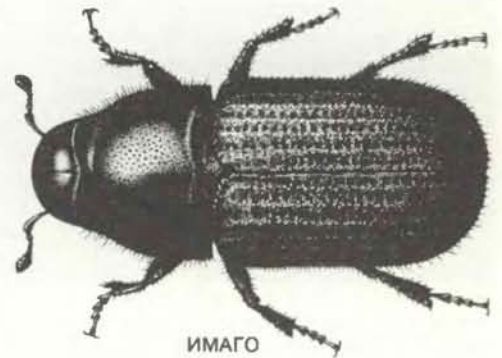
30 см в толщину. Ареал вида простирается от провинции Британская Колумбия в Канаде до Мексики.



ЯЙЦО



ЛИЧИНКА



ИМАГО

0 0,25 CM

ПСЕВДОТСУГОВЫЙ ЛУБОЕД (*Dendroctonus pseudotsugae* Hopkins). Взрослая особь (справа) не более 1 см в длину, ко-

ричного цвета. Беловатая личинка (посередине) чуть побольше. Длина яйца 2 мм (слева).

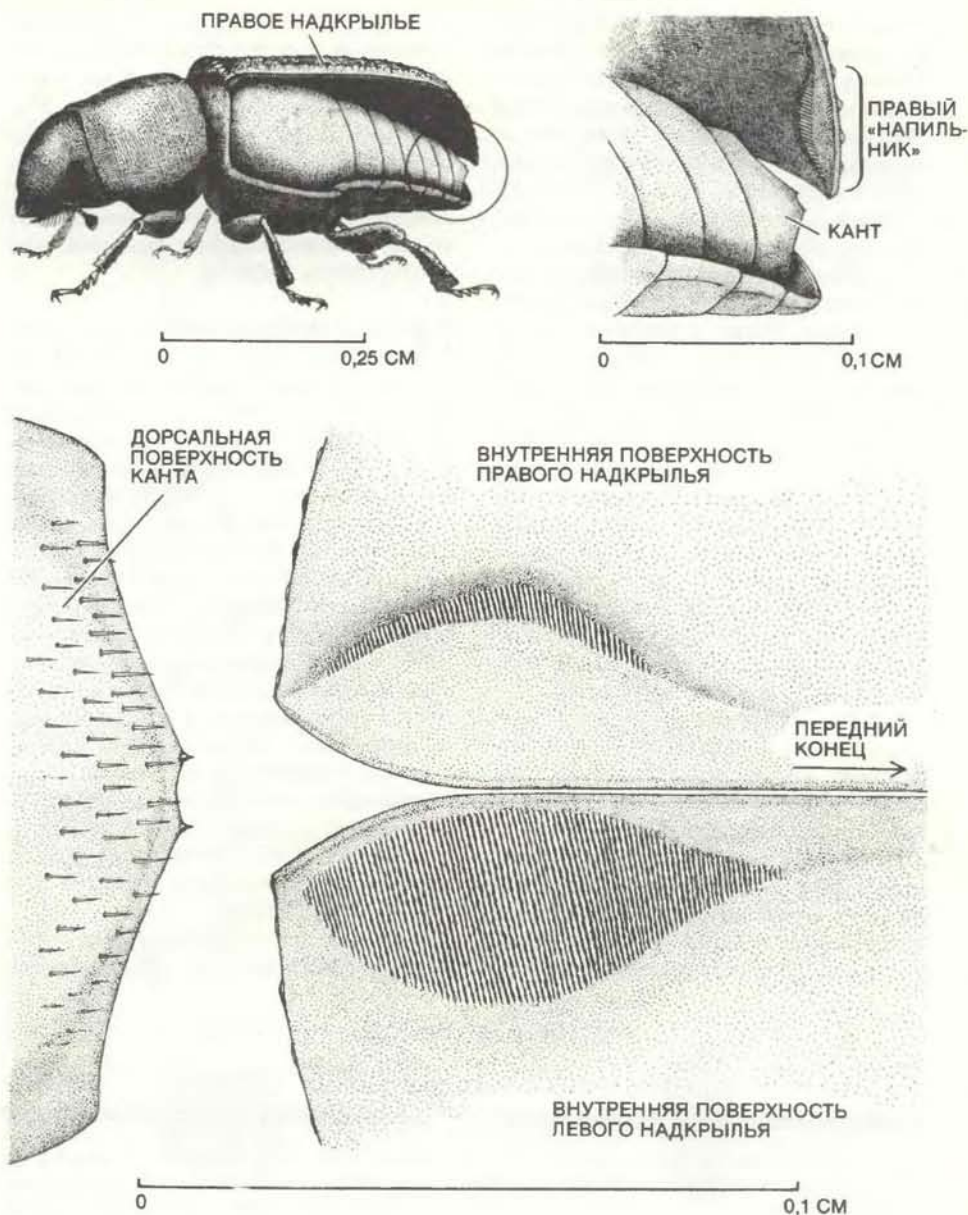
лекали взрослых жуков обоего пола, причем самок оказывалось вдвое больше, чем самцов. Более того, было показано, что свежая смола из спиленного дерева привлекала жуков так же сильно, как и сами стволы. Полученные данные наводили на мысль о том, что в смоле содержатся вещества, которые притягивают летающих насекомых. Началась работа по идентификации этих веществ.

Проверке подвергали различные компоненты смолы и было обнаружено несколько относящихся к группе терпенов летучих соединений, которые привлекали самок и самцов псевдотсугового лубоеда. Особенно сильным действием обладали три из них: α -пинен, камфен и лимонен. Выделяемые деревом-хозяином вещества называются первичными аттрактантами.

Позже Д. Вуд и его коллеги (Калифорнийский университет в Беркли) открыли, что некоторые вещества, синтезирующиеся в организме одного из видов жуков-короедов, который поражает сосновые деревья, будучи соединены с терпенами, приобретают свойства сильного аттрактанта. Рудинский применил другой подход: он поселял в спиленных стволах псевдотсуги самок лубоеда, давая им возможность внедриться под кору. После этого привлекательность стволов для летающих жуков увеличивалась в 15 раз.

Оказалось, что «источником» привлекательности древесных стволов была буровая мука, т.е. труха, которая образуется по мере того, как самка прогрызает маточный ход в коре дерева. Труха скапливается кучками у входного отверстия. Было показано, что феромон, благодаря которому дерево становится таким притягательным для жуков, содержится в смешанных с трухой фекалиях самок. К середине 60-х годов понятие «феромон» было уже далеко не новым; были описаны половые аттрактанты бабочек и ряда других животных. Поскольку вещество, выделяемое короедами, привлекало особей обоего пола, оно не могло быть половым феромоном и его определили как феромон скопления.

В 1968 г. Рудинский обнаружил, что действие феромона скопления псевдотсугового лубоеда обратимо. С того момента, как самцы присоединяются к самкам, проделывающим маточные ходы в коре спиленного ствола, летающие жуки перестают стремиться к этому дереву. Стволы, в которых находилось по 30 «одиноких» самок, привлекали 700—900 летающих жуков за час; если же над каждым входным отверстием помещали на сетку самца, уже через несколько минут стволы теряли привлекательность для других жуков. Если же самцов удаляли, к стволам вновь слетались насекомые.



ЖУК ИЗДАЕТ ЗВУК путем стридуляции, или стрекотания. На внутренней поверхности надкрылий имеется твердая пластинка («напильник») с множеством мелких гребешков на поверхности. У конца брюшка находится пара тонких зубцов (кант). Стридуляция заключается в трении кантом по напильнику. Стридулировать могут как самцы, так и самки жука. Издаваемые ими звуки служат важным средством коммуникации.

Выяснилось, что причиной такой обратимости служит другой феромон, который выделяется в том случае, когда самец и самка лубоеда находятся вместе. Существование второго вещества, названного маскирующим феромоном, было продемонстрировано в опыте с двумя стволами: тот, в котором сидели пары жуков, поместили рядом с другим, где были одни самки. Вскоре оба ствола перестали привлекать летающих насекомых: запахи, исходившие от спаривавшихся жуков, погасили эффект скопления от феромона, содержавшегося в трухе, которую оставляли за собой неспаривавшиеся самки. Быстрота маскирующего эф-

фекта второго феромона была неожиданной для специалистов: всегда считалось, что химические сигналы исчезают медленно, а труха около входного отверстия была вся пропитана феромоном скопления.

После того как открыли маскирующий феромон, был обнаружен еще один удивительный факт. Оказалось, что это вещество начинает выделяться вовсе не вследствие прямого контакта между самцом и самкой: в действительности от самца исходил звуковой сигнал. Создание звука путем трения двух специализированных частей тела друг о друга называется стридуляцией, или стрекотанием; это самый обычный

способ акустической сигнализации среди насекомых. Самец псевдотсугового лубоеда стридулирует, быстро поскребывая кантом, представляющим собой пару маленьких зубцов у заднего окончания брюшка, по насечкам «напильника» — небольшой затвердевшей пластинки на верхней стороне надкрыльев, несущей много мелких гребешков.

Рудинский установил, что самцы жуков всегда начинают стридулировать, коснувшись трухи у входного отверстия маточного хода, и попытался показать, что именно стридуляция ведет к выделению маскирующего феромона. Он отрезал у самцов лубоеда кончики надкрылий вместе с напильником, тем самым лишая их способности производить звуки. Такие «немые» самцы могли оставаться на сетке у входного отверстия сколько угодно времени, однако маскирующий феромон не появлялся. При этом летающие жуки продолжали скапливаться у стволов, в которых находились самки лубоеда.

Самцы, которые не были лишены способности издавать звуки, останавливались у входного отверстия, тыкались в труху и «пели» даже в том случае, если самку перед этим извлекли из маточного хода. Когда самка отсутствовала, пение самца у входного отверстия не снимало привлекающего эффекта трухи — жуки продолжали садиться на сетку, которой были обтяну-

ты стволы. На основании этих данных Рудинский пришел к заключению, что именно самки жука синтезируют и выделяют маскирующий феромон. Мы увидим дальше, что это не так, но для своего времени гипотеза была вполне резонной, а главное она повела к дальнейшим плодотворным исследованиям коммуникационных особенностей псевдотсугового лубоеда.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ феромонов жука оказалась гораздо более сложным делом, чем идентификация аттрактантов дерева-хозяина. Было выяснено, что вещества, обладающие свойством привлекать жуков, выделяются из задней кишки самки. Трудность для исследования состояла в том, что задняя кишка жуков содержит множество разных соединений: некоторые поступают сюда вместе с древесной пищей, другие синтезируются в организме насекомого. И в этой сложной смеси требовалось выявить специфические аттрактанты, образующиеся у лубоедов. Несколько групп американских и канадских исследователей еще раньше трудничали в изучении жуков-короедов рода *Dendroctonus*; теперь они соревновались в попытках идентифицировать вещества, входящие в состав феромона скопления.

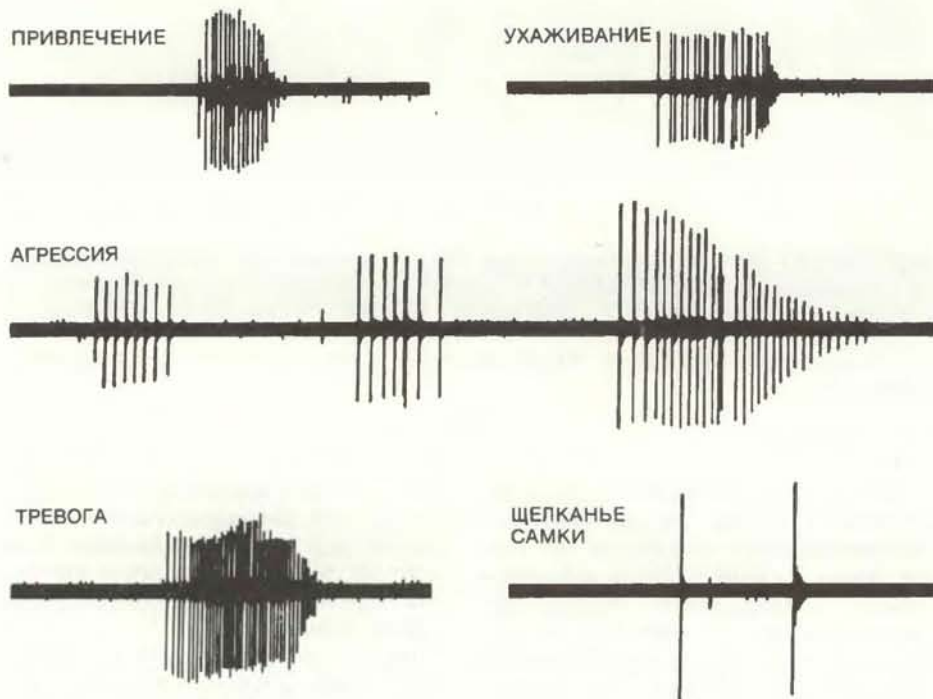
Первое из синтезирующихся в организме лубоеда веществ, про которое

было показано, что оно является аттрактантом, — это фронталин. Он относится к группе химических соединений, называемых бициклическими кеталями. Дж. Кинцер и его сотрудники (Институт Бэттеля) обнаружили фронталин у других видов короедов еще до того, как он был открыт у псевдотсугового лубоеда. Вскоре были идентифицированы еще 4 соединения, обладающие аттрактивными свойствами: *транс*-вербенон, вербенон, метилциклогексенон и метилциклогексенон (МЦГ). У всех пяти соединений сходная химическая структура: молекула содержит до 10 атомов углерода, а также 1 или 2 атома кислорода и имеет форму кольца.

Пять феромонов слегка различаются по своему «вкладу» в аттрактивный эффект смеси. Однако по отдельности все они вызывают у жуков лишь слабую реакцию, если вместе с феромоном не присутствует терпен растения-хозяина. Например, фронталин сам по себе привлекал лишь немногих летающих жуков, но в комбинации с α -пиненом или камфеном он становился сильным аттрактантом для жуков обоего пола. Если в смесь веществ входил метилциклогексенон, представляющий собой спирт, то среди слетавшихся жуков преобладали самки. Это вещество является половым аттрактантом, его действие подобно эффекту феромонов, идентифицированных у других видов насекомых.

Действие МЦГ, представляющего собой кетон, сильно варьировало в зависимости от его концентрации. В то время как очень разбавленный МЦГ сильно увеличивал аттрактивные свойства других феромонов, неразбавленный МЦГ подавлял их привлекательность почти полностью. Ингибирующий эффект чистого МЦГ заставлял предположить, что именно это соединение служило маскирующим феромоном. В то же время реакция скопления вызывалась не каким-то одним соединением, а целым набором веществ: смесью феромонов насекомого и терпенов растения-хозяина.

После того как основные феромоны были идентифицированы, началась работа с целью установить соответствие между химическими и акустическими сигналами. В этих исследованиях весьма полезным оказался специально сконструированный прибор, который был назван ольфакторной дорожкой. Он состоит из горизонтально натянутой тонкой сетки, по которой, как по дорожке, жук движется между двумя параллельными стенками к источнику света. Если на «дорожку» помещали самца жука, а под сетку — небольшой сосуд с привлекательной трухой, насекомое реагировало на запах, исходящий от трухи. В большинстве опытов жук-самец сначала проходил мимо со-



ОСЦИЛЛОГРАММЫ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ псевдотсугового лубоеда. Привлекающую «песню» (вверху слева) самец издает, приближаясь к входному отверстию маточного хода, внутри которого сидит самка. «Песня» ухаживания (вверху справа) свойственна самцу непосредственно перед копуляцией. Для сигнала агрессии (посередине) характерны паузы; этот сигнал звучит при встрече двух самцов, а также в начале ухаживания самца за самкой. Если взять жука в руку, тот отвечает сигналом тревоги (внизу слева). Самка способна издавать только один акустический сигнал — щелканье (внизу справа), она делает это, прогрызая маточный ход.

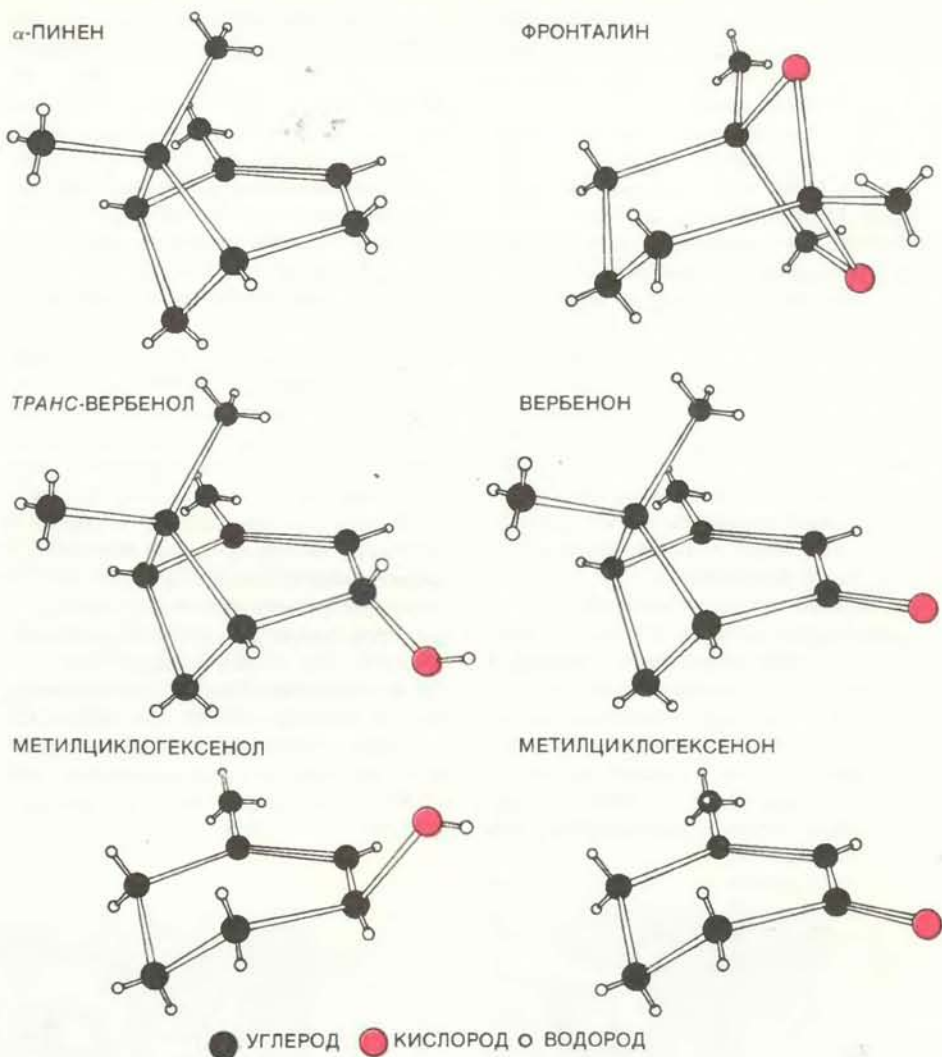
суда, затем поворачивал назад, так что казалось, будто он выделяет над ним какие-то пируэты. При этом жук наклонял голову вниз, «пел» и тыкался в разные стороны. Если самец вел себя именно таким образом, считалось, что он задержан привлекающим набором запахов.

Чтобы тщательнее изучить звуки, издаваемые самцом в ответ на запах трухи, Рудинский привлек к работе Р. Михаэля, специалиста по электронике. Проанализировав звук на осциллографе, они обнаружили, что «пение» самца в присутствии трухи короче по времени и состоит из меньшего числа пульсов*, чем сигнал тревоги, издаваемый насекомым, если его взять в руки. Такой звуковой сигнал был назван привлекающим пением.

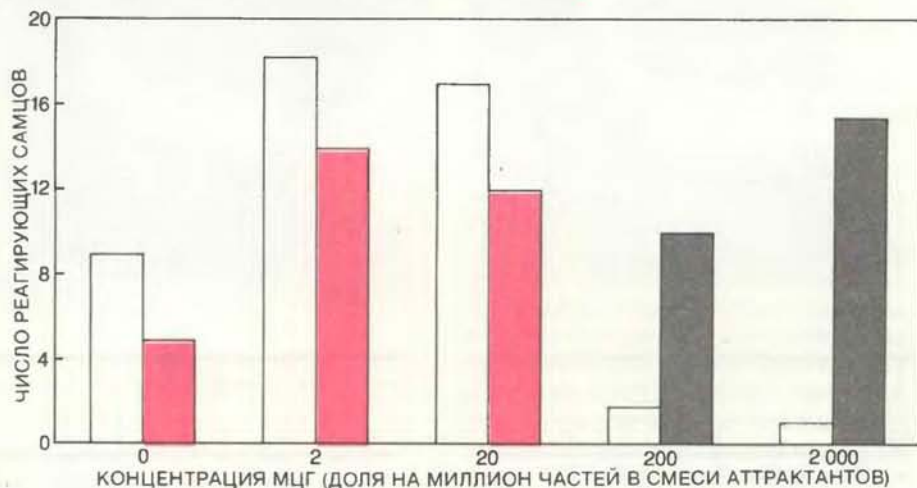
ПОСЛЕ ТОГО как самец, привлеченный набором запахов, на протяжении 10 мин стридулировал у входного отверстия в маточный ход, где его ждала самка, 90% самцов, наталкивавшихся на труху в следующие 10 мин, проходили мимо нее, не задерживаясь. Самцы не стремились ко входу в туннель с находившейся там самкой, даже если у соседнего входного отверстия просто воспроизводили запись привлекающего пения. Самцы же, хирургическим путем лишённые возможности издавать звуки, не могли одним только своим присутствием подавить привлечение, даже если они оставались у входного отверстия более 10 мин.

Рудинский и его коллеги сочли, что именно привлекающее пение служит пусковым сигналом для выделения маскирующего феромона; когда появляется маскирующее вещество, труха немедленно теряет для жуков всякую привлекательность. Самка достаточно избирательно реагирует на характер пения самца; это следует из того, что при воспроизведении стрессового сигнала свойства трухи не менялись. Только звук с определенными акустическими характеристиками мог служить стимулом для выделения маскирующего вещества.

Так как было показано, что МЦГ лишает набор запахов трухи его притягательной силы, Рудинский и Михаэль решили выяснить, действительно ли самка выделяет МЦГ в ответ на привлекающее пение самца. Для этого они сконструировали аппарат, позволявший собирать выделяемые жуками летучие вещества. Жуков помещали в короткие стеклянные трубки, затянутые с обоих концов сеткой; трубки устанавливали в камере, через которую продувался очищенный воздух. Летучие про-



ФЕРОМОНЫ — это вещества, синтезирующиеся в организме насекомого или иного животного и вызывающие специфические реакции других особей того же вида. Здесь изображена структура пяти феромонов псевдотсугового лубоеда, а также α -пинена, образующегося в дереве-хозяине — псевдотсуге Дагласа. Все эти вещества найдены в смеси, выделяемой самкой для привлечения других жуков к зараженному дереву. Метилциклогексенон может перебивать эффект привлечения и стимулировать агрессивное поведение и ухаживание.



КОНЦЕНТРАЦИЯ МЦГ и эффект, который это вещество оказывает на самца псевдотсугового лубоеда. Белые столбики обозначают число жуков, привлеченных к сосуду, содержащему смесь синтетических аттрактантов и МЦГ. Цветные столбики показывают число жуков, издающих привлекающее пение; серые — число жуков, издающих сигнал агрессии. При концентрации до $2 \cdot 10^{-3}\%$ МЦГ притягивает жуков и стимулирует привлекающее пение. При более высокой концентрации МЦГ, наоборот, гасит привлечение, а самцы переходят от привлекающего пения к сигналу агрессии.

* Пульс — это элементарная звуковая посылка, результат однократного срабатывания производящего звук объекта. — Прим. перев.

дукты, выделяемые насекомыми, попадали в коллектор, и их анализировали методами газовой хроматографии и масс-спектрометрии.

Если самок и самцов помещали в трубки по отдельности, никто из них не выделял МЦГ. Если же их сажали попарно, МЦГ появлялся в большом количестве. Все время пока шло выделение этого вещества, самец толкал самку и непрерывно стридулировал. Для того чтобы показать, что МЦГ испускает именно самка, Рудинский удалил из трубок самцов, а самкам воспроизвел запись привлекающей песни самцов. Самки реагировали на акустический стимул и выделяли МЦГ точно так же, как они это делали, находясь в трубке вместе в самцами. Стало очевидно, что МЦГ — естественный маркирующий феромон.

Довольно долго специалисты по короедам были уверены, что только самцы псевдотсугового лубоеда способны к стридуляции, тогда как самки «не имеют голоса». Рудинский усомнился в этом после того, как услышал «песню» самки лубоеда горной сосны — близкого родственника псевдотсугового лубоеда; самка стридулировала, бу-

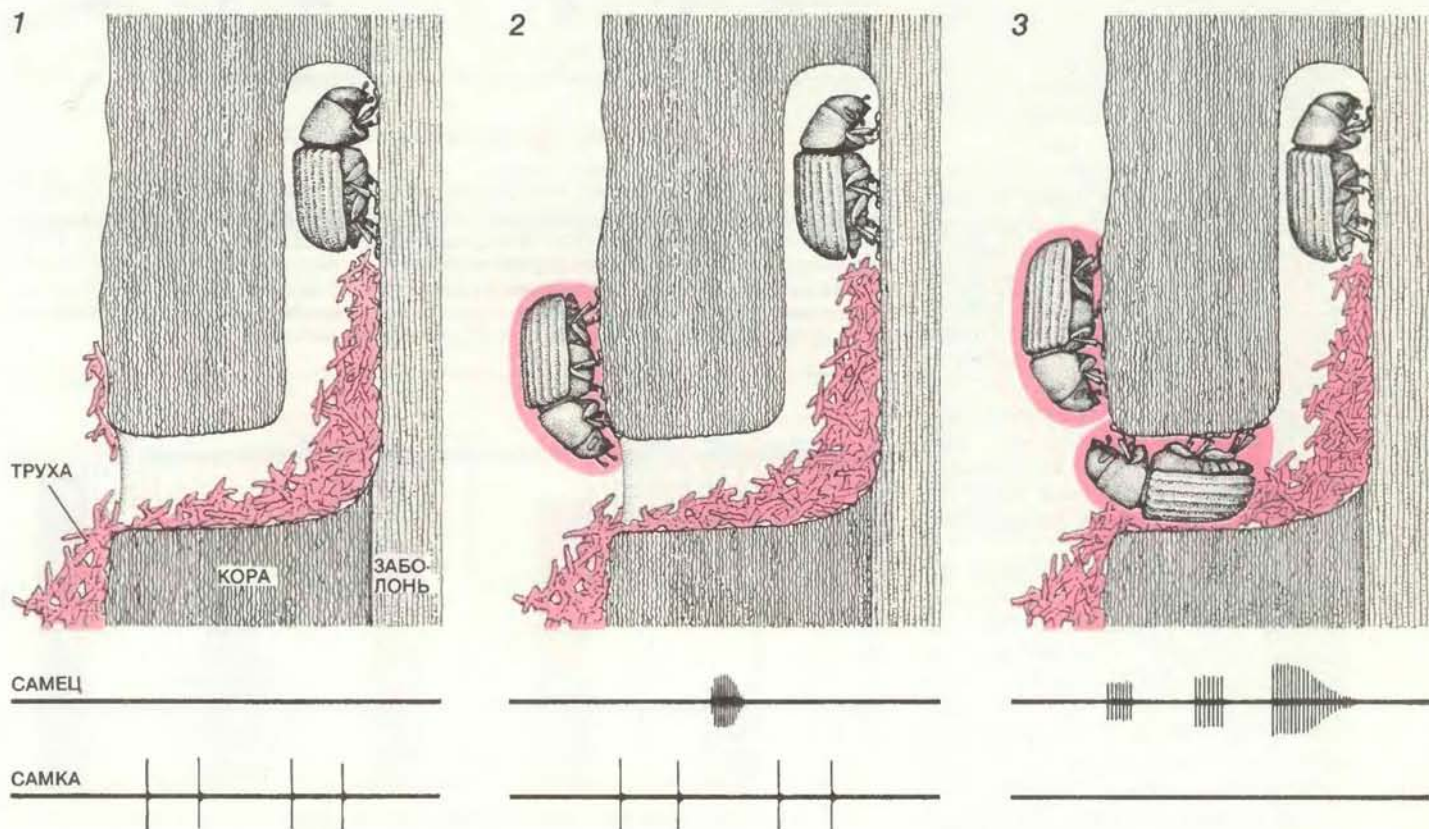
лучи потревожена другой самкой, прокладывая свой маточный ход поблизости. С помощью микрофона и осциллографа Рудинский установил, что самки псевдотсугового лубоеда в определенных условиях также испускают короткие акустические сигналы; сигнал представляет собой одиночный или двойной щелчок, более громкий, чем пение самца, но такой короткий, что он практически неуловим для человеческого уха.

Звуковые сигналы, которые издают самки, призваны регулировать расположение маточных ходов относительно друг друга. Прогрызая ход, самка время от времени пощелкивает, даже если поблизости нет жуков. Однако когда другие самки начинают буровать свои ходы поблизости, она щелкает со значительно большей частотой. А когда чужое отверстие закладывается в пределах 5 см от уже проделанного маточного хода, самка стридулирует почти непрерывно. Самки, обследующие кору в поисках места для хода, медленно поворачивают назад, когда оказываются в 10 см от входного отверстия, проделанного щелкающей самкой.

ХОТЯ САМЦЫ жуков гораздо агрессивнее самок, в их взаимоотношениях акустические сигналы также играют важную роль. Поведение двух самцов перед входом в маточный ход с самкой похоже на столкновение двух танков. Если два самца одновременно подходят к входному отверстию, конфликт между ними неизбежен; с громким «пением» конкуренты вцепляются друг в друга своими твердыми мандибулами, и каждый старается одолеть соперника.

Песня сражающегося самца псевдотсугового лубоеда столь характерна, что ее никогда не спутаешь с его привлекающей песней. Во-первых, она длиннее, чем привлекающая, во-вторых, пульсов в ней больше и, в-третьих, каждый пульс длится дольше. Но особенно отличаются ее паузы. В сигнале может быть одна, две или три паузы, так что в результате создается впечатление, будто жук заикается. Следуя терминологии, принятой у европейских авторов, Рудинский назвал прерывистый сигнал, издаваемый дерущимся самцом, сигналом агрессии.

Если двух самцов помещали вместе в аппарат для собирания выделяемых



АКУСТИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ СИГНАЛЫ регулируют взаимоотношения между жуками. Феромон МЦГ (показан цветом) играет ключевую роль при наиболее существенных событиях в жизненном цикле лубоеда; его выделение тесно связано с акустическими сигналами (они показаны внизу). Когда самка прогрызает маточный ход для откладки яиц, она выделяет небольшое количество МЦГ вместе с другими аттрактантами в составе фекалий, которые перемешивают-

ся с образующейся при прокладке хода трухой (1). В процессе работы самка пощелкивает. Смесь аттрактантов привлекает пролетающего самца (2). В ответ на щелканье самки и низкую концентрацию МЦГ самец издает привлекающее пение и выделяет в большом количестве МЦГ. В это время прилетает второй самец и сражается с первым за обладание маточным ходом (3). При непосредственном контакте оба самца выделяют еще больше феромона и издают сигнал

жуками веществ, они издавали энергичные сигналы агрессии, неистово сражались друг с другом и выделяли в значительном количестве МЦГ. Это вещество, однако, не появлялось, если самцу давали послушать записанный на магнитофон сигнал агрессии соперника. Сам по себе, без одновременного контакта самцов друг с другом, акустический сигнал не стимулировал выделения феромона.

Хотя сигнал агрессии не вызывал выделения МЦГ, оказалось, что в достаточном количестве это вещество могло заставить самцов издавать сигнал агрессии. Рудинский помещал самцов на ольфакторную дорожку и наблюдал за их поведением, постепенно увеличивая концентрацию МЦГ в аттрактивной смеси. В очень низкой концентрации, примерно $2 \cdot 10^{-4}\%$, феромон только увеличивал привлекающее действие других компонентов. Когда концентрация МЦГ достигала $2 \cdot 10^{-3}\%$, самцы все еще останавливались на дорожке над сосудом со смесью. И только при концентрации $2 \cdot 10^{-2}\%$ самцы переставали задерживаться над сосудом: они проходили над ним, «не оборачиваясь», а их акустический сигнал

изменялся — вместо привлекающего пения жуки начинали издавать сигнал агрессии.

Исходя из того, что «песня» при увеличении концентрации МЦГ изменялась, можно было предполагать, что сигнал агрессии сражающиеся самцы издают в ответ на выделение ими МЦГ, которое происходит при непосредственном контакте их друг с другом. Эта гипотеза казалась вполне разумной, но возникал естественный вопрос: если и самец, и самка жука выделяют МЦГ, то как же самец отличает другого самца, на которого он нападает, от самки, за которой он ухаживает? В результате длительных наблюдений за взаимоотношениями жуков внутри маточного хода Рудинский и его коллеги (к которым я в то время присоединился) нашли ответ: у псевдотсугового лубоеда существует интересная связь между агрессией и ухаживанием.

БЫЛО РЕШЕНО записать на пленку все звуки, которые издавали самец и самка с того момента, как самец начал тыкаться в труху у входного отверстия в маточных ход. В течение первых нескольких минут самец распевал при-

влекающую песню; однако вскоре после того, как он проникал внутрь хода, привлекающее пение прекращалось. Мы тогда еще мало знали об акустических сигналах у короедов, и предполагалось, что, попав в маточный ход, самец начинает издавать какие-то особые звуки, сопровождающие процесс ухаживания. К нашему великому изумлению, оказалось, что самец издает в это время сигнал агрессии.

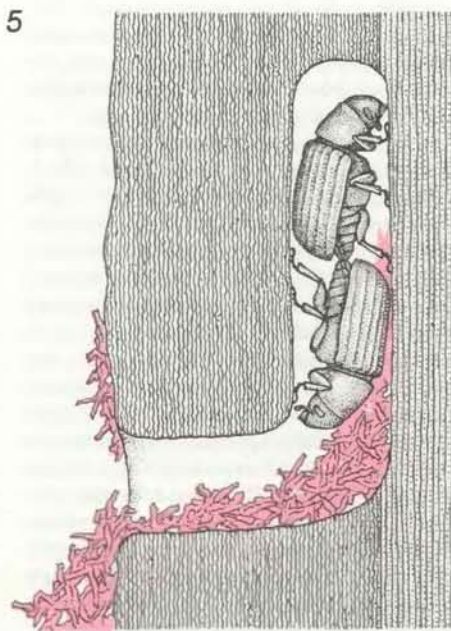
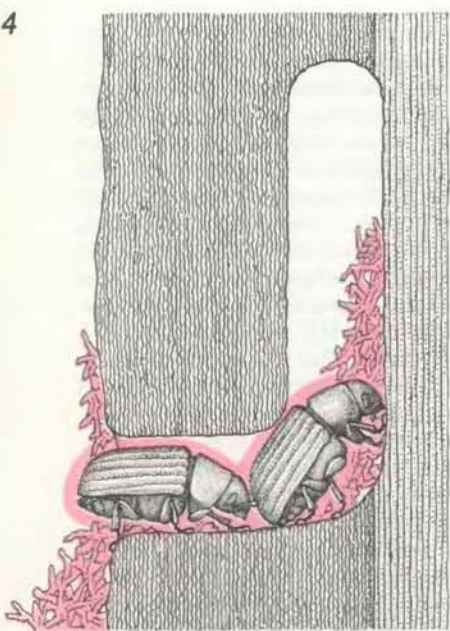
Для того чтобы наблюдать поведение жуков внутри маточного хода во всех подробностях, был устроен «бутерброд»: кусок свежей коры псевдотсуги Дагласа жестко закрепили между двумя пластинами толстого плексигласа. Самку лубоеда запустили внутрь через дырку в плексигласе и «бутерброд» накрыли черной тканью, чтобы туда не проникал свет, так как самки предпочитают темноту.

Большинство самок легко приспосабливались к этим условиям. Они поворачивались спиной к внутренней поверхности плексигласа, как если бы это была заболонь, и начинали прогрызать себе путь через флэзму. Уже через 12 ч самка была готова к «приему» самца. При слабом освещении жуки вели себя, очевидно, точно так же, как в естественных условиях. Наблюдая за насекомыми, мы одновременно с помощью микрофона слушали и записывали на магнитофон все издаваемые ими звуки.

Как это наблюдалось и раньше, самец сначала пел привлекающую песню, а затем принимался испускать сигнал агрессии. Характер «пения» менялся не в тот момент, когда самец входил в непосредственный контакт с самкой, а чуть позже. Как только самец издавал сигнал агрессии, он немедленно начал толкать самку (такое толкание как элемент ухаживания известно и у жуков других видов). Самка реагировала на это частым шелканьем, передвигалась ближе к входному отверстию, где заклинивалась между стенками проделанного ею хода, одновременно отталкиваясь от самца.

В результате длительного наблюдения за поведением жуков внутри «бутерброда» стало ясно, что отношения между самцом и самкой в период ухаживания вовсе не дружественные. Когда однажды самца случайно подсадили к пораненной самке, он разорвал ее на части, вытолкнул остатки через входное отверстие и вскоре покинул маточный ход. В тех случаях, когда самка была вполне здорова, самцу требовался примерно час, чтобы привыкнуть к ней, и весь этот час он толкал и кусал ее. После этого самец начинал собирать опилки, нагрызенные самкой в глубине хода, подталкивал их к входному отверстию и выкидывал на поверхность коры. Снаружи самец вдыхал свежий воздух, но, вернувшись обратно в атмосферу маточного хода, насыщенную

агрессии. Обычно побеждает тот, кто раньше прилетел к входному отверстию. Прогнав пришельца, самец начинает ухаживать за самкой (4). Вначале ухаживание носит агрессивный характер: самец выделяет МЦГ и издает сигнал агрессии. Он толкает и кусает самку, а та защищается, втиснувшись между стенками хода и отталкивая самца крепким задним концом тела. Примерно через час самец перестает толкать самку и начинает ухаживать более «ласково». Теперь он поет «песню» ухаживания. Спаривание происходит через несколько минут после того, как начался «вежливый» этап ухаживания (5).



агрессии. Обычно побеждает тот, кто раньше прилетел к входному отверстию.

феромоном, он возобновлял свои атаки на самку. Постепенно его нападения делались короче и в конце концов прекращались совсем. Самец вел себя более «ласково» и поглаживал надкрылья самки своими передними ногами. Его песня также менялась: она становилась короче и проще и больше походила на привлекающую песню, звучавшую в самом начале у входного отверстия. Самка благосклонно отвечала на такое ухаживание, и уже через несколько минут жуки обычно спаривались.

Вскоре выяснилось, что при агрессивном ухаживании самца за самкой, так же как и при сражении двух самцов, имел значение МЦГ. Было записано шелканье самки в присутствии самца, хирургическим путем лишённого «голоса». Эту запись затем дали прослушать другим самцам, сидевшим в аппарате для собирания выделяемых жуками веществ, и из потока обдуваемого самцов воздуха было экстрагировано большое количество МЦГ.

Из того факта, что в эксперименте самцы выделяли МЦГ в ответ на шелканье самки, следовало, что, скорее всего, и в естественной обстановке у входного отверстия в маточный ход самец также выделяет большое количество МЦГ, когда слышит звуки, издаваемые сидящей внутри хода самкой. Этот вывод позволил понять механизм агрессивности самца при ухаживании. И при сражении с соперником, и при ухаживании за самкой прерывистый сигнал у самца провоцируется МЦГ. В обоих случаях такой сигнал связан с агрессивным поведением. Вполне можно думать, что МЦГ является основным стимулом агрессивного поведения (в то же время он служит для привлечения летающих насекомых к дереву-хозяину или, наоборот, для предотвращения этого).

ОЧЕВИДНО, самцы жука всегда выделяют МЦГ при контакте с другим жуком независимо от того — самец это или самка. Правда, если другой жук — самка, то в ответ на ее шелканье феромон появляется еще до того, как жуки войдут в непосредственный контакт. В случае двух самцов благодаря выделению феромона поддерживается состояние враждебности, а если особи разного пола, самец в конечном счете привыкает к самке и на первый план выступают другие черты поведения.

Может показаться странным, что самец, приближаясь к самке, демонстрирует свою ярость, однако такая агрессивность, возможно, дает самцу значительные генетические преимущества при размножении. Самец псевдотсугового лубоеда моногамен. На удаление трухи от входного отверстия и защиту его от врагов он тратит много времени и сил, и не в его интересах делать все это ради неполноценной самки.

Энергичное ухаживание за самкой служит, очевидно, своего рода тестом на ее способность к производству потомства: чтобы выдержать такой ритуал, она должна быть достаточно здоровой, а здоровая самка наверняка обладает и хорошей плодовитостью. Нормальная самка отлично может защитить себя: она успешно блокирует наскоки самца, пользуясь крепким задним концом своего тела. Всякого рода толкания в начале ухаживания служат действительно прекрасной проверкой полноценности обоих партнеров. Удавалось иногда наблюдать, как во время ухаживания мелкие слабые самцы сами отступались от самки, вылезали из маточного хода и улетали с дерева, оставляя свои владения более крепкому и удачливому самцу.

Выделение МЦГ в тот период, когда в маточном ходу находится пара жуков, можно трактовать и как явление, полезное для других самцов, так как оно предупреждает их, что ход уже занят. Шансы на то, что удастся выгнать уже «укрепившегося» там самца, очень малы; поэтому для пролетающего мимо самца будет гораздо лучше, если его что-либо удержит от напрасной траты сил в попытке вытеснить опередившего его соперника. Выделение МЦГ при соединении двух жуков в пару как раз служит этой цели. Одновременно соблюдают интересы ухаживающего самца, первым проникшего в маточный ход: и он не тратит времени напрасно, сражаясь с пришельцами.

Обеспечивая регуляцию плотности всей популяции жуков на дереве, МЦГ нужен и каждой отдельной самке. Для того чтобы подавить систему химической защиты растущего дерева, необходима массированная атака; последующая перенаселенность, однако, может привести к гибели значительной части потомства, так как слой флоэмы потребляется быстро и многие личинки будут вынуждены голодать. Перенаселенность предотвращается определенной комбинацией акустических и химических сигналов. Шелканье самки упорядочивает расположение маточных ходов в коре дерева. Но если бы все новые самки продолжали привлекаться к дереву, оно оказалось бы «переполнено», и даже при упорядоченном расположении маточных ходов не было бы оптимальных условий для производства потомства. С увеличением числа пар жуков, выделяется все больше МЦГ, что заставляет прилетающих жуков занимать менее заселенные части того же дерева или соседние деревья, а это выгодно и особям, уже устроившимся здесь, и тем, которые только еще ищут себе место.

Множественность функций МЦГ в жизни псевдотсугового лубоеда прекрасно подтверждает концепцию экономии феромонов, выдвинутую М. Блю-

мом из Университета шт. Джорджия. Согласно этой точке зрения регуляция всех событий в жизни организма, требующих химической коммуникации, осуществляется минимально возможным числом веществ. В случае псевдотсугового лубоеда принцип экономии феромонов весьма ярко выражен: одно и то же вещество играет роль почти во всех значительных событиях, связанных со взаимоотношениями между взрослыми особями.

В РЕЗУЛЬТАТЕ описанных работ пришлось понимание разнообразных функций МЦГ. Полученные сведения можно использовать для разработки методов, которые позволили бы ограничить численность популяции псевдотсугового лубоеда в западных районах США, богатых строевым лесом. Саженьцы псевдотсуги Дагласа нуждаются в прямом солнечном свете, и деревья обычно вырубаются сплошняком на довольно больших площадях. Если бы можно было нанести феромон скопления на деревья, предназначенные для рубки, к ним слеталось бы множество жуков. Вырубив в течение года эти деревья, мы тем самым уничтожили бы потомство жуков, что привело бы к снижению плотностей их популяций на соседних участках лесонасаждения.

Имеет смысл воспользоваться также маскирующими свойствами МЦГ. Численность популяции лубоеда может возрастать до эпидемического уровня, когда жуки выплываются в деревьях, упавших во время зимних ураганов. Показатель выживаемости жуков в таких стволах весьма высок, поскольку в них нет системы химической защиты, свойственной живым здоровым деревьям. Обработка поваленных деревьев МЦГ в высокой концентрации сделала бы их непривлекательными для летающей части популяций и предотвратила бы вспышку численности жуков.

Итак, знание особенностей коммуникации у псевдотсугового лубоеда можно с выгодой применить на практике, особенно в западных штатах страны. Однако эти насекомые заслуживают тщательного изучения не только из экономических соображений. Жуки в простейшем виде демонстрируют многие типы поведения, свойственные позвоночным животным, а именно: территориальность, групповое поведение, схватки самцов, продолжительное ухаживание и кооперацию особей разного пола. Дальнейшие детальнейшие исследования систем коммуникации у жуков прольют новый свет на эти основополагающие биологические процессы.

Наука и общество

Поиск продолжается

ОКОЛО семи лет назад физики открыли новые частицы, которые обозначили латинской буквой b (от англ. bottom — низ). Это предполагало, что существуют партнеры новых частиц, которые естественно было бы обозначить буквой t (от англ. top — верх). Ожидалось, что такие частицы вскоре будут открыты. Однако до сих пор этого не произошло. Почему? На этот вопрос могут дать ответ эксперименты со сложными системами, состоящими из частиц b . По-видимому, верхняя строчка таблицы элементарных частиц расположена еще выше, чем ожидалось.

Частицы b и t представляют собой кварки — составляющие множества сложных частиц, к семейству которых относятся протон и нейтрон. Все известные кварки вместе с другим основным классом фундаментальных частиц — лептонами — подразделяются на три поколения. Считают, что каждое поколение должно состоять из двух кварков и двух лептонов (и соответствующих им антикварков и антилептонов). В первое поколение входят кварки u и d (от англ. up — вверх и down — вниз), а также лептоны — электрон и электронное нейтрино. Частицы первого поколения отвечают за существование обычного вещества во Вселенной. Кварки второго поколения s и c называют странным (от англ. strange) и очарованным (от англ. charmed) соответственно; к этому поколению относятся также мюон и мюонное нейтрино. Существование очарованного кварка было предсказано примерно за десять лет до его открытия, состоявшегося в 1974 г. С помощью очарованного кварка можно было объяснить отсутствие таких распадов странного кварка, при которых испускается частица Z^0 . Кварк b вместе с упорно разыскиваемым t -кварком входит в третье поколение; оно содержит также тау-лептон и тау-нейтрино. Кварк b играет в третьем поколении ту же роль, что и странный кварк во втором; распад b -кварка, сопровождаемый испусканием частицы Z^0 , никогда не наблюдался. Поэтому и теория и эксперимент дают веские основания предполагать существование в третьем поколении частицы, подобной очарованному кварку.

Если t -кварк существует, он может оказаться слишком тяжелым, чтобы его можно было получать в экспериментах на существующих сейчас ускорителях. В прошлом году стали говорить о том, что t -кварк обнаружен в Европейской организации ядерных исследований (ЦЕРН), однако официальных сообщений на эту тему не появи-

лось. Самое большое ограничение снизу на массу t -кварка, полученное в прямых экспериментах, пока принадлежит физикам из организации DESY (Deutsches Elektronen-Synchrotron) в Гамбурге. Они изучали последствия столкновений электронов и позитронов, ускоренных до высоких энергий. Среди частиц, рождавшихся в столкновениях, искались следы, характерные для распадов короткоживущих t -кварков. Сейчас энергия таких столкновений повышена до 45 ГэВ, однако никаких свидетельств распада t -кварков не обнаружено. Достигнутая энергия позволяет дать нижнюю оценку массы этого кварка. Поскольку t -кварк должен рождаться в паре со своим антикварком в составе более сложной частицы, то необходимая для этого энергия столкновения должна по крайней мере вдвое превышать массу кварка, следовательно, масса t -кварка должна быть больше 22,5 ГэВ.

В Станфордском ускорительном центре (SLAC) получены косвенные экспериментальные данные, отодвигающие нижнюю границу на массу t -кварка еще выше. Время жизни B -мезона, состоящего из b -кварка и одного из более легких кварков первого поколения, зависит от массы t -кварка. Чем массивнее t -кварк, тем больше должно быть время жизни B -мезона. Исследователи в Станфорде определили время жизни B -мезона по измерениям расстояния от точки столкновения электрон-позитронных пучков, где этот мезон рождается, до точки его распада. Положение точки распада определялось по начинающемуся в ней ливню лептонов, которые испускаются при распаде. Измеренное расстояние составляет сотые доли миллиметра. Поскольку B -мезон летит со скоростью, равной примерно одной десятой скорости света, его время жизни должно быть около пикосекунды (10^{-12} с). Такое время жизни в четыре-пять раз больше, чем ожидалось. Отсюда можно сделать вывод, что масса t -кварка, возможно, превышает 30 ГэВ.

Сам b -кварк также является объектом детальных исследований: ведь в отсутствие t -кварка он образует самые тяжелые составные системы, позволяющие изучать динамику кварков. Ученые, работающие на электронном накопительном кольце Корнеллского университета (Cornell Electron Storage Ring, CESR), пополнили список элементарных частиц несколькими возбужденными состояниями ипсилон-частицы, построенной из кварка b и его антикварка \bar{b} . Для таких систем приняты обозначения по аналогии с электронными состояниями атомов: в S -состояниях орбитальный угловой мо-

мент равен нулю, а в P -состояниях — единице. Помимо главного, или основного, состояния системы кварков $b\bar{b}$ до недавнего времени было известно только три возбужденных S -состояния ипсилон-частицы. Сейчас ученые в Корнеллском университете определили массы двух P -состояний, а в мае на встрече членов Американского физического общества в Вашингтоне они сделали сообщение о наблюдении четвертого возбужденного S -состояния с массой 10,88 ГэВ.

Издательство
МИР
предлагает:

**МОНОКЛОНАЛЬНЫЕ
АНТИТЕЛА
К АНТИГЕНАМ
НЕРВНОЙ
ТКАНИ**

Под ред. Р. Мак-Кея, М. Рэффа,
Л. Рейхардта

Перевод с английского

Содержание: Моноклональные антитела для выявления субпопуляции глиальных клеток в мозжечке, белковых субъединиц филаментов, компонентов мембран, молекул на поверхностях нейронов. Моноклональные антитела к ферментам, синтезирующим нейромедиаторы катехоламинового ряда. Иммунохимические методы очистки и исследования глиального ростового фактора. Исследование взаимодействия тиреотропного гормона с рецептором, а также структуры синапсов с использованием моноклональных антител. Метод моноклональных антител в изучении функций сетчатки и нервно-мышечных контактов.

Книга предназначена для специалистов в области нейробиологии, иммунологов, для студентов и преподавателей биологических факультетов вузов и медицинских институтов.

1984, 18 л. Цена 3 р.



Межзвездная пыль: строение и эволюция

Частицы космической пыли имеют сложное строение — ядро, окруженное оболочкой из органических веществ. В оболочке, по-видимому, происходят различные химические процессы

ДЖ. МЕЙО ГРИНБЕРГ

МЕЖЗВЕЗДНОЕ пространство заполнено веществом. В основном это водород и гелий, которые в условиях межзвездной среды не могут существовать в твердом состоянии; даже при температуре 3 К Вселенная чересчур горяча для их конденсации. Но, несмотря на это, твердое вещество все же существует. Это крошечные замерзшие частицы, называемые межзвездной пылью. Пылевые частицы состоят из более тяжелых химических элементов, синтезированных в термоядерных реакциях в недрах звезд и при взрывах сверхновых. Больше всего в них содержится кислорода (O), углерода (C) и азота (N); далее следуют магний (Mg), кремний (Si) и железо (Fe). Кроме того, в их состав входит водород, захватываемый из межзвездной среды.

Как и в других областях астрономии, исследование межзвездной пыли затруднено тем, что изучаемое вещество недоступно — нельзя взять его образцы для лабораторного анализа. Единственный прямой источник информации — это электромагнитное излучение звезд, прошедшее на пути к Земле через области межзвездной среды, содержащие пыль. Определив длины волн, на которых межзвездные пылевые частицы рассеивают и поглощают излучение, можно сделать вывод об их физических свойствах и химическом составе. В последнее время ценные данные были получены другим методом: путем моделирования в лабораторных условиях взаимодействия газа, твердого вещества и излучения в межзвездном пространстве. Цель таких экспериментов — получить вещество, которое позволило бы объяснить астрономические наблюдения.

Как из астрономических наблюдений, так и из лабораторных экспериментов следует, что структура пылевых частиц удивительно сложна. Это вовсе не инертные и аморфные комочки космической пыли. Оказывается, типичная пылевая частица имеет отчетливо выраженную внутреннюю структуру: ядро, состоящее главным образом из силикатов (типа скальных

пород), и оболочку, состоящую из более летучих веществ. В оболочке пылинки, содержащей аккрецированные атомы углерода, кислорода и азота, происходят сложные химические процессы, причем возможен взрыв неустойчивых компонентов смеси. Пылевые частицы характеризуются своего рода «жизненным циклом»: они появляются в виде силикатных «зародышей», выброшенных из сильно проэволюционировавших звезд, затем подвергаются разнообразным физическим и химическим процессам и заканчивают свой «жизненный путь» в виде «сырья» для образования новых поколений звезд.

НЕСМОТЯ на присутствие газа и пыли, межзвездная среда — это гораздо более высокий вакуум, чем удалось когда-либо достичь на Земле. Средняя концентрация межзвездного вещества в нашей Галактике — один атом водорода на 1 см^3 . Однако распределение вещества неоднородно. Крупномасштабное распределение газа в спиральных галактиках типа нашей характеризуется повышением концентрации в области центральной плоскости галактического диска. Наибольшая концентрация достигается, по-видимому, вдоль внутренней границы спиральных рукавов. В более мелких масштабах газ также распределен неоднородно: большая его часть собрана в межзвездные облака.

Существуют облака двух типов. Диффузные облака — области низкой концентрации, в которых содержатся лишь свободные атомы водорода и других химических элементов. Концентрация здесь может быть ниже 20 атомов на 1 см^3 . Молекулярные облака — области более высокой концентрации, в которых атомы водорода образуют в основном двухатомные молекулы (H_2). Найдены и более сложные молекулы. В молекулярных облаках концентрация может достигать миллиона атомов на 1 см^3 . Но даже самые плотные молекулярные облака чрезвычайно разрежены по земным масшта-

бам. И все же масса межзвездного газа в Галактике составляет 10% полной массы звезд.

Распределение межзвездной пыли, по-видимому, совпадает с распределением газа. Пыль выдает свое присутствие, рассеивая свет звезд. Взаимодействие пыли с излучением определяется размерами частиц и длиной волны излучения. Рассмотрим частицы известковой пыли. Они больше длины волны видимого света, поэтому рассеивают свет всех длин волн одинаково. Свет, прошедший через взвесь известковой пыли, тускнеет, но его цвет не изменяется. Напротив, частицы, сравнимые по размерам с данной длиной волны, рассеивают свет этой длины волны наиболее интенсивно. Например, частицы, размеры которых несколько меньше типичной длины волны видимого света, рассеивают синий свет сильнее, чем красный, поэтому синий свет не достигает наблюдателя.

Свет звезд на пути через межзвездную среду краснеет, что приводит к характерной картине «межзвездной экстинкции» в широком диапазоне длин волн — от дальней инфракрасной до ультрафиолетовой области спектра. Сначала кривая экстинкции плавно идет вверх: с уменьшением длины волны от инфракрасной через видимую к ближней ультрафиолетовой области поток рассеянного излучения постепенно увеличивается. Затем кривая становится круче и при 2200 \AA достигает максимума; при длине волны примерно 1700 \AA имеется локальный минимум. Затем в дальней ультрафиолетовой области вновь начинается подъем.

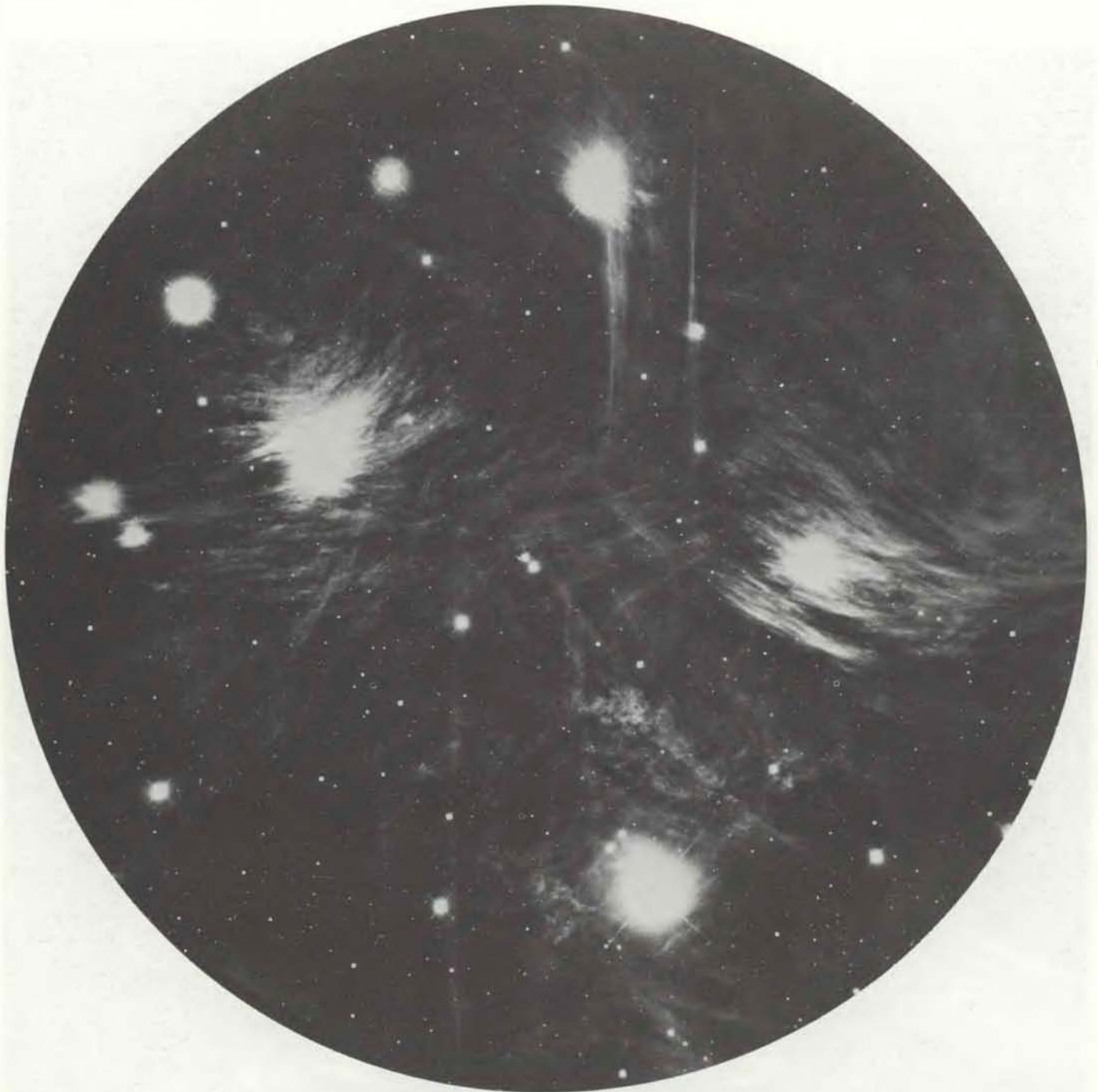
Интерпретация этой картины экстинкции вызвала споры среди ученых. Тем не менее при изучении данных, собранных на спутнике IUE (International Ultraviolet Explorer), Г. Хлевицки из Лейденского университета и я пришли к выводу, что частицы межзвездной пыли отчетливо подразделяются на три типа. Частицы, ответственные за пик на кривой экстинкции при 2200 \AA , должны иметь радиус не менее одной

миллионной доли сантиметра; они, по-видимому, состоят из углерода в форме графита. Частицы, которыми обусловлена кривая экстинкции в дальней ультрафиолетовой области, также должны быть очень малы. Что касается частиц, определяющих кривую экстинкции в видимой и инфракрасной областях, то их размеры должны быть по меньшей мере в 10 раз больше: примерно сто тысячных сантиметра (это размер частиц, содержащихся в дыме си-

гареты). Только кислород, углерод и азот, способные конденсироваться в твердое состояние, распространены в достаточной степени, чтобы образовывать такие крупные частицы.

По земным меркам, эти самые крупные частицы крайне разрежены. В среднем, чтобы обнаружить одну частицу, пришлось бы «обшарить» куб с ребром такой длины, как футбольное поле. И все же поток звездного света, пройдя сквозь молекулярное облако

средних размеров и концентрации, может ослабиться в 100 000 раз из-за рассеяния (а также поглощения) частицами межзвездной пыли. Если бы Солнечная система попала в такое облако, то в истории Земли наступила бы эпоха, когда звезды не были бы видимы и можно было бы наблюдать только планеты. Любопытно, что при этом небо не было бы темным, а светилось бы за счет рассеянного пылинками солнечного света.



МЕЖЗВЕЗДНЫЕ ПЫЛИНКИ в струящихся газо-пылевых облаках обнаруживаются на фотографии звездного скопления Плеяды, находящегося в созвездии Тельца на расстоянии 400 световых лет от нас. Благодаря отраженному пылинками свету звезд облака становятся видимыми. Яркое пятно внизу — облако Меропы. Концентрация атомов в нем

составляет несколько тысяч на 1 см^3 . Это облако — одно из самых плотных в нашей Галактике; звезда Меропа движется сквозь облако со скоростью 30 км/с; со временем она перестанет освещать облако, так что через миллион лет составляющие его газ и пыль исчезнут из виду. Снимок сделан на 4-метровом телескопе обсерватории Китт-Пик.

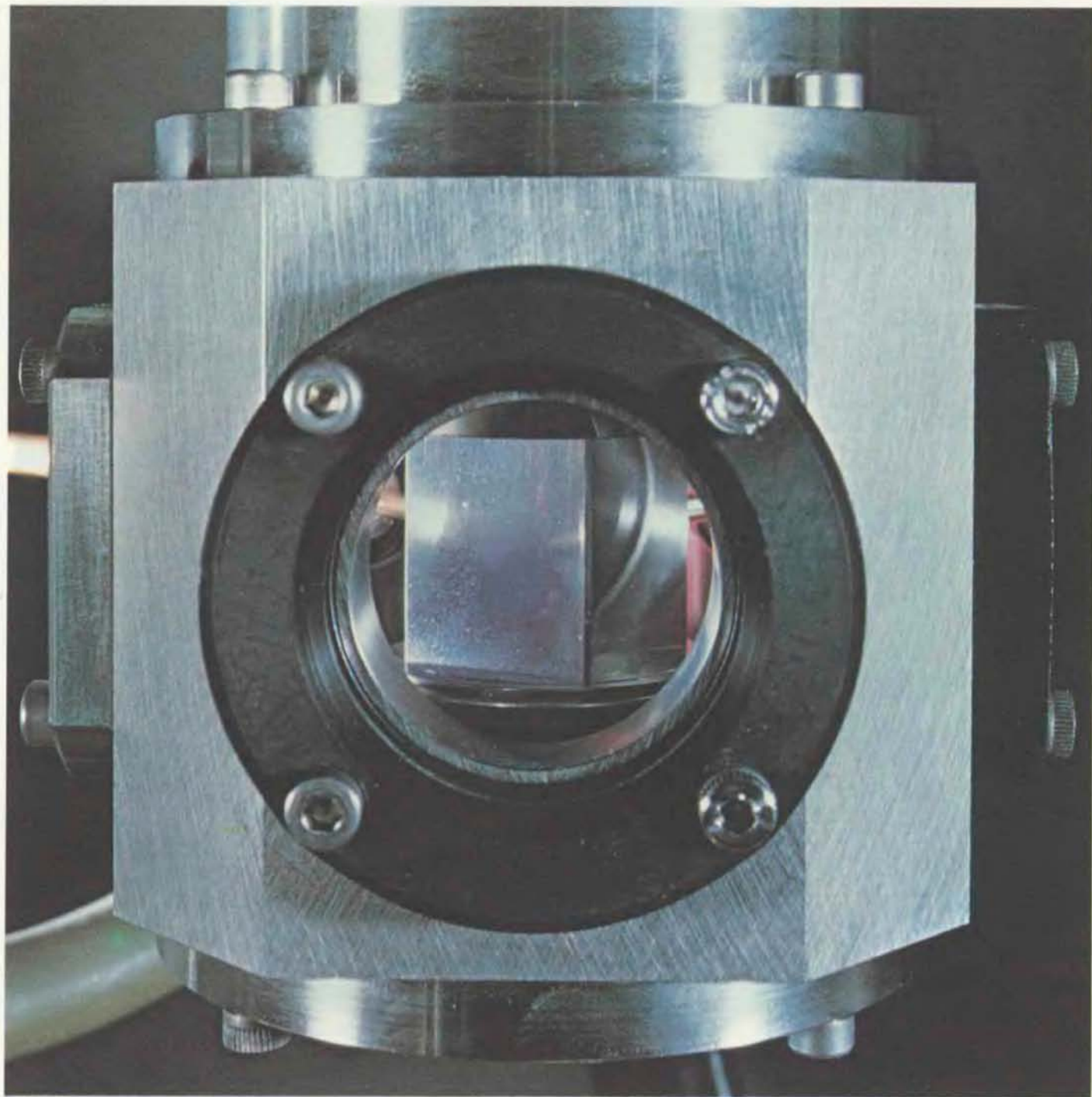
ВПЕРВЫЕ идея о том, что в межзвездном пространстве могут конденсироваться твердые частицы, была, вероятно, выдвинута шведским астрономом Б. Линдбладом в 1935 г. Затем, в 1949 г., голландский астроном Г. ван де Хюлст предположил, что эти частицы могут состоять из льда. Однако существенный недостаток его гипотезы состоял в том, что при низких давлениях, господствующих в межзвездной среде, лед может образоваться только на ранее существовавших ядрах конденсации.

В начале 70-х годов было обнаруже-

но, что в окрестностях холодных звезд-гигантов и сверхгигантов спектрально-го класса М существуют небольшие силикатные частицы. Дальнейшие исследования показали, что они образуются в атмосферах таких звезд и затем выбрасываются в межзвездную среду, вероятно, под действием давления излучения звезды. Силикатные частицы довольно быстро удаляются на такое расстояние от ближайших звезд, где они остывают примерно до 10 К. Они-то и образуют зародыши, необходимые для роста частиц межзвездной пыли.

В конце концов зародыши попадают

в межзвездное облако со значительной концентрацией газообразных атомов и молекул. Последние сталкиваются с зародышами и «примерзают» к ним. Так постепенно образуется оболочка из льда. Можно попытаться предсказать ее химический состав. Предположим, что С, О и N — наиболее распространенные элементы, способные конденсироваться в твердое состояние, и что на поверхности силикатного ядра они вступают в реакцию с атомами водорода. В результате должны образоваться главным образом водяной лед, замерзшие метан и аммиак.



ЛАБОРАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ранних стадий роста межзвездных пылевых частиц выполнено в экспериментальной камере в лаборатории автора в Лейденском университете. В камеру вводилась смесь воды (H_2O), метана (CH_4), аммиака (NH_3) и других простых молекул. Смесь осаж-

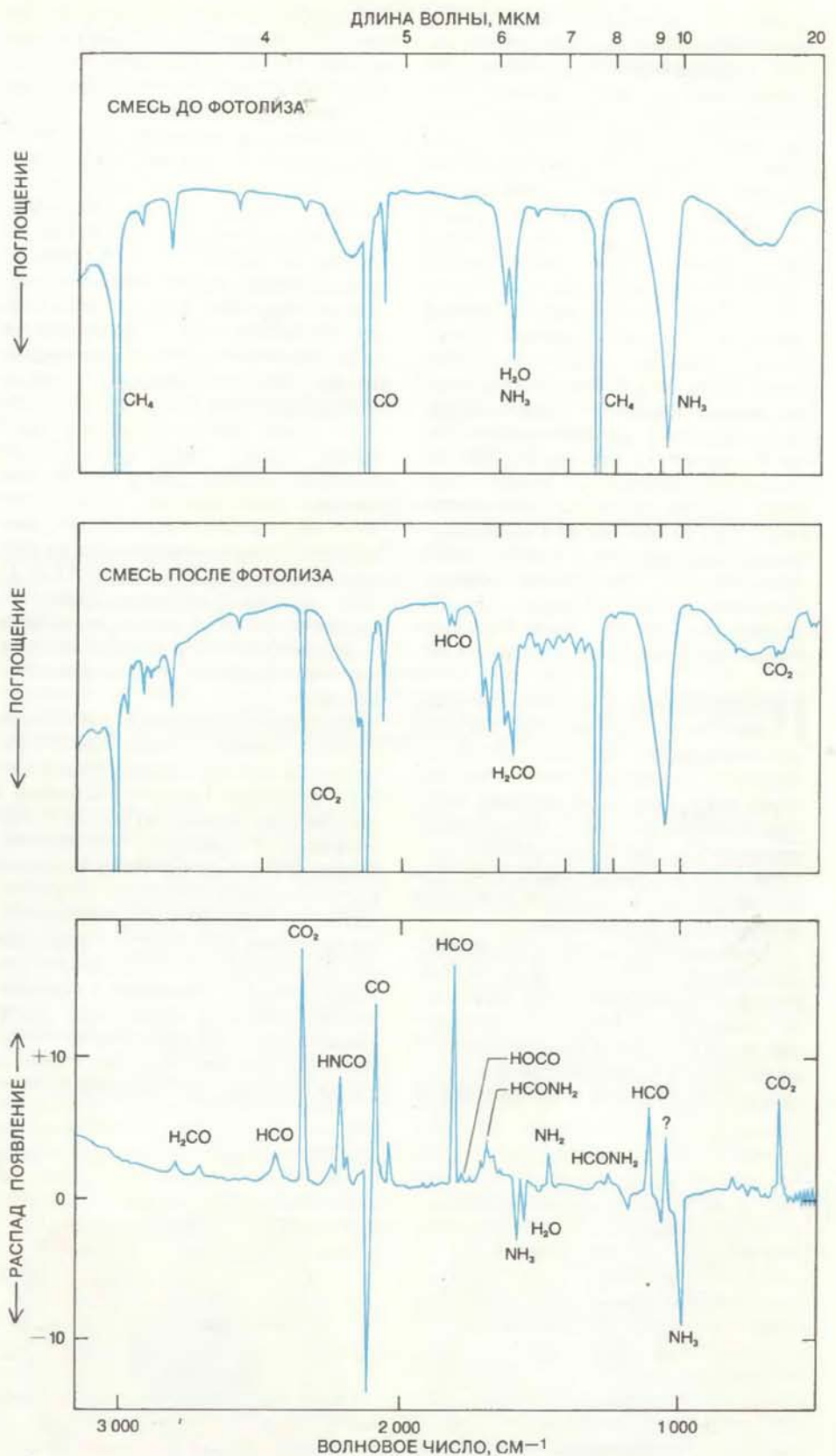
далась на поверхность конденсирующего элемента, охлаждаемого до температуры 10 К. Поддерживался высокий вакуум. Камера облучалась ультрафиолетовым излучением. Голубой цвет образца обусловлен присутствием радикалов HCO, образовавшихся при облучении.

Однако если бы водяной лед содержался в межзвездной среде в больших количествах, то его легко было бы обнаружить. В частности, астроном 60-х годов вполне мог надеяться на то, что с усовершенствованием инфракрасных детекторов удастся наблюдать поглощение излучения в инфракрасной области при длине волны около 3 мкм, обусловленное колебанием связи O — H в молекуле воды. Первые результаты, полученные в 1968 г., оказались отрицательными и вызвали разочарование. В качестве возможного объяснения этого факта выдвигался фотолиз: разложение молекул H_2O под действием ультрафиолетового излучения.

Примерно во время безуспешных поисков водяного льда в межзвездных облаках были открыты аммиак (NH_3) и формальдегид (H_2CO). Химия межзвездной среды оказалась гораздо сложнее, чем можно было ожидать. В связи с этим химики и астрофизики пытались выяснить механизм, способствующий взаимодействию молекул и атомов в межзвездном пространстве. При этом они не принимали во внимание возможную связь между образованием сложных молекул и отсутствием водяного льда. Если в межзвездных пылинках молекулы воды могут распадаться, то это возможно и для других молекул. Затем в результате последовательных актов рекомбинации в пылинке могут образовываться крупные молекулы из небольших.

Предположим, что сначала оболочка пылевой частицы состоит из смерзшейся смеси молекул воды, метана и аммиака (я назвал эту смесь «грязным льдом») и что радиус пылинки составляет 0,12 мкм, или около 10^{-5} см. Оказывается, что поток ультрафиолетового излучения, пронизывающего межзвездную среду, достаточен для того, чтобы разорвать все молекулярные связи в молекулах оболочки за период от десятков до сотен лет. Продолжительность жизни межзвездного газопылевого облака — от 1 млн. до 100 млн. лет, поэтому оболочка пылинки не может оставаться химически инертной.

В результате фотолиза в оболочке могут происходить сложные процессы. Под действием ультрафиолетового излучения молекулы могут распадаться с образованием радикалов OH и NH_2 , вмороженных в месте своего возникновения. Эти радикалы могут рекомбинировать с образованием исходных или новых молекул или же могут оставаться инертными. На какой-то стадии оболочка должна состоять из замерзшей смеси молекул и радикалов различной сложности. Судя по тому, что астрономы обнаружили в межзвездной среде более 60 разных молекул, такая смесь может существовать.



ПО ИНФРАКРАСНЫМ СПЕКТРАМ поглощения вещества, осевшего на конденсирующем элементе, выявляются изменения его химического состава под действием ультрафиолетового излучения. *Вверху* — инфракрасный спектр смеси CO , NH_3 , H_2O , не подвергавшейся облучению. Каждая линия обусловлена валентными, деформационными или маятниковыми колебаниями молекул определенного типа. *В середине* — спектр поглощения смеси после облучения. Образовались новые молекулы. Среди них наиболее заметны диоксид углерода CO_2 , формальдегид H_2CO и радикал HCO . Кривая *внизу* представляет собой отношение верхних спектров.

Радикал — это фрагмент молекулы, имеющий неспаренный электрон и поэтому высокореакционноспособный. Радикалы легко вступают в реакцию друг с другом; при этом выделяется значительная энергия — около 4—5 эВ. Допустим, что в результате рекомбинации радикалов в оболочке пылевой частицы должна одновременно образоваться одна тысячная часть всех стабильных молекул. Тогда выделившейся энергии будет достаточно, чтобы поднять температуру пылинки по крайней мере на 20°. В этом случае при определенных условиях может произойти цепная реакция, в которой тепло, генерированное при рекомбинации радикалов, приведет к высвобождению других «замерзших» радикалов. Они начнут диффундировать в твердой оболочке и в конце концов встретят радикалы, с которыми вступят в реакцию. Это может привести к взрыву в оболочке. Но поскольку средняя температура пылевой частицы всего 10 К, она обычно препятствует диффузии радикалов и началу цепной реакции.

ПРИВЕДЕННОЕ выше описание дает упрощенную картину того, что должно происходить с частицами межзвездной пыли. Для более полного представления необходимо более глубокое понимание процессов, которые протекают в низкотемпературной смеси молекул, облучаемых ультрафиолетовым излучением. Именно для их изучения требуются лабораторные исследования.

Первые работы в этом направлении выполнили К. Саган и Б. Кхар из Корнеллского университета и Э. Енча и автор этих строк из Нью-Йоркского университета в Олбени. Позднее я перешел на работу в Лейденский университет, и здесь после создания астрофизической

лаборатории в 1975 г. моим сотрудникам (Л. Аллмандоле и Ф. Басу) и мне впервые удалось смоделировать в специальной камере условия, подобные условиям в межзвездной среде.

Важнейшими параметрами в наших экспериментах являются низкая температура и поток ультрафиолетового излучения. Низкая температура (10 К) достигается с помощью криостата, заполненного жидким гелием и снабженного конденсирующим элементом, представляющим собой алюминиевый блок или прозрачное окно, смонтированное на металлическом кольце. Ультрафиолетовое излучение вводится в камеру через специальное отверстие. Газ подается в камеру через трубку. Давление в камере может достигать 10^{-8} мм ртутного столба. (Давление в межзвездном пространстве не превышает 10^{-19} мм ртутного столба.) Как правило, использовалась смесь газов из простых молекул — CH_4 , CO , H_2O , CO_2 , NH_3 , N_2 и O_2 . Газ конденсируется на элементе, который играет роль зародыша межзвездной пылевой частицы; при этом конденсат непрерывно облучается.

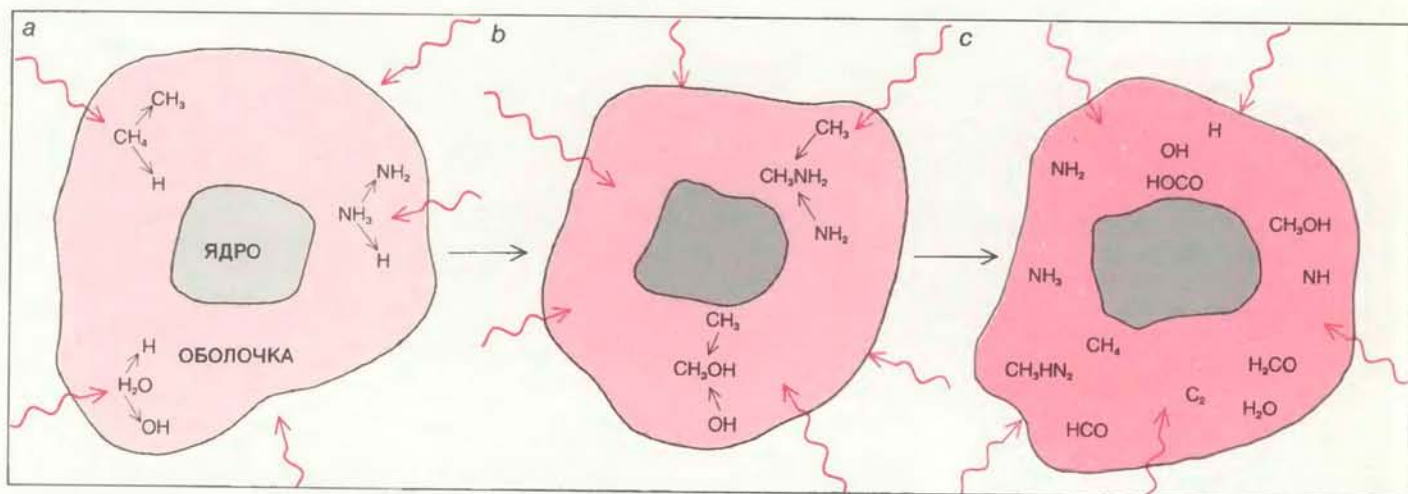
Основное различие между условиями в нашей камере и в межзвездном пространстве состоит в характерном времени фотолиза. Один час облучения в лаборатории эквивалентен 1000 годам облучения в диффузном межзвездном облаке. В ходе эксперимента можно направлять струю газа через другое отверстие в инфракрасный спектрометр, измеряющий поглощение в диапазоне от 2,5 до 25 мкм. В этом диапазоне находится область «отпечатков пальцев», соответствующая валентным, деформационным и маятниковым колебаниям молекул в твердой фазе. Имеются также датчики для измерений давле-

ния, люминесценции, массы газообразных молекул и поглощения в видимой области спектра.

Образование новых молекул и радикалов в исходной смеси легко определить по изменению инфракрасных спектров поглощения в ходе эксперимента. Так, если исследуется смесь CO , NH_3 , H_2O и CH_4 , то почти сразу же обнаруживаются молекулы диоксида углерода, формальдегида и значительное количество радикала HCO . Другие линии в спектре поглощения еще не идентифицированы.

В быстро развивающейся области науки экспериментальные наблюдения и теоретические разработки как бы «играют друг с другом в чехарду». Вскоре после неудачных попыток найти водяной лед в межзвездном пространстве и незадолго до успешного лабораторного моделирования условий в межзвездном пространстве было обнаружено сильное поглощение при 3,1 мкм от так называемого объекта Беклина — Нейгебауэра, источника инфракрасного излучения в созвездии Ориона. Это наблюдение послужило убедительным свидетельством того, что по крайней мере в некоторых областях межзвездной среды пылевые частицы содержат воду. В спектре имелась также широкая полоса поглощения при 9,7 мкм. Мы приписали ее силикатным ядрам пылинок. В настоящее время считают, что объект Беклина — Нейгебауэра представляет собой область звездообразования. Теперь водяной лед найден также в молекулярных облаках.

Следует отметить, что при сравнении ранних спектров поглощения межзвездного водяного льда и лабораторных спектров чистого кристалличе-



СТРУКТУРА ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ после первой стадии аккреции, определенная путем лабораторного моделирования на смеси воды, метана, аммиака и других простых молекул, облучавшихся ультрафиолетовым излучением при температуре 10 К. Каждая пылинка ведет свое начало от силикатного ядра, образовавшегося в атмосфере холодной звезды-гиганта. Вокруг ядра образуется ледяная оболочка.

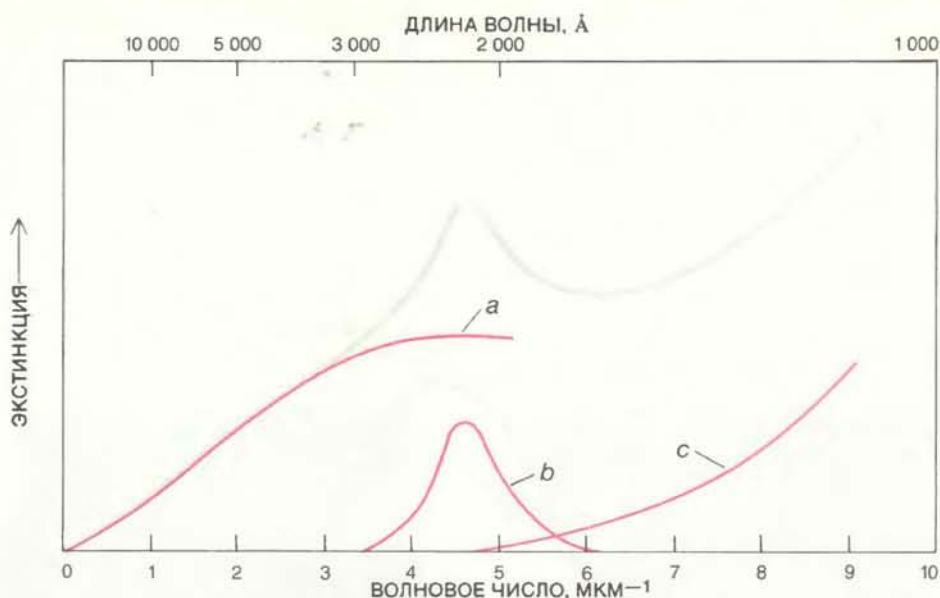
Под действием ультрафиолетового излучения некоторые молекулы оболочки диссоциируют с образованием радикалов — реакционноспособных фрагментов молекул (а). Радикалы могут рекомбинировать с образованием других молекул (b). В результате длительного облучения может образоваться более сложная смесь молекул и радикалов (с).

ского льда выявилось их различие. Полоса межзвездного поглощения смещена относительно лабораторного спектра и к тому же оказалась гораздо шире. Может быть, кристаллы межзвездного водяного льда обладают некоторыми особенностями? Алламандола, Вим Хаген и я в Лейденском университете решили найти ответ на этот вопрос. Мы сразу же обнаружили, что чистая вода при температуре 10 К медленно осажается на конденсирующем элементе; ее поглощение в инфракрасной области очень сходно с картиной межзвездного поглощения — длина волны и ширина полосы точно совпадают. Лед, образующийся при 10 К, имеет аморфное строение, поэтому хаотически движущиеся молекулы воды замерзают буквально «на лету». С ростом температуры лед становится менее аморфным, пока наконец при температуре несколько выше 130 К не приобретает обычную кристаллическую структуру. Уже при температуре 80 К полоса поглощения при 3,0 мкм становится гораздо уже и глубже, чем при 10 К.

Мы установили также, что незначительная примесь метана и аммиака приводит к появлению «крыла» с длинноволновой стороны от полосы поглощения воды. Таким образом нам удалось моделировать другие свойства межзвездного поглощения. Сравнение спектра межзвездного поглощения и спектров чистого и загрязненного льда обеспечило нас данными, необходимыми, чтобы проследить эволюцию оболочек пылевых частиц в межзвездном пространстве.

КАКОВ же состав частиц межзвездной пыли, если в них отсутствует водяной лед? Пытаясь ответить на этот вопрос, мы проследили эволюцию пылевых частиц после того, как они образовались путем аккреции, подверглись фотолизу под действием ультрафиолетового излучения и приобрели чрезвычайно низкую температуру межзвездной среды. Период низкотемпературной инертности, безусловно, составляет большую часть жизни пылинки. Однако при некоторых условиях возможен нагрев частиц, например при звездообразовании в областях пространства, богатых межзвездной пылью.

Мы придерживались следующей стратегии. В ходе осаждения газа на конденсирующем элементе при одновременном облучении оболочки ультрафиолетовым излучением в камере поддерживалась низкая температура от 10 до 15 К. Толщина оболочки увеличивалась. При достаточно низком темпе осаждения оболочка может быть аморфной (стекловидной) и приобрести сверкающий голубой цвет в результате увеличения концентрации радикала НСО. Если прекратить осаждение,



КРИВАЯ МЕЖЗВЕЗДНОЙ ЭКСТИНКЦИИ СВЕТА обусловлена селективным рассеянием излучения некоторых длин волн на пылевых частицах. В результате звезды кажутся несколько краснее, чем они есть на самом деле. В интервале от дальней инфракрасной области (слева) до дальней ультрафиолетовой области (справа) поглощение обусловлено тремя компонентами. Подъем кривой в дальней инфракрасной области (a) соответствует поглощению частиц радиусом 10^{-5} см. Пик в середине при 2200 Å (b) приписывается частицам, в 10 раз меньшим и, вероятно, состоящим из чистого углерода в форме графита. Подъем кривой справа (c) связан с небольшими частицами, состоящими, возможно, из силикатов.

выключить источник ультрафиолетового излучения и поддерживать постоянную температуру, то никаких изменений наблюдаться не будет. Оболочка будет абсолютно стабильна по меньшей мере в течение недели.

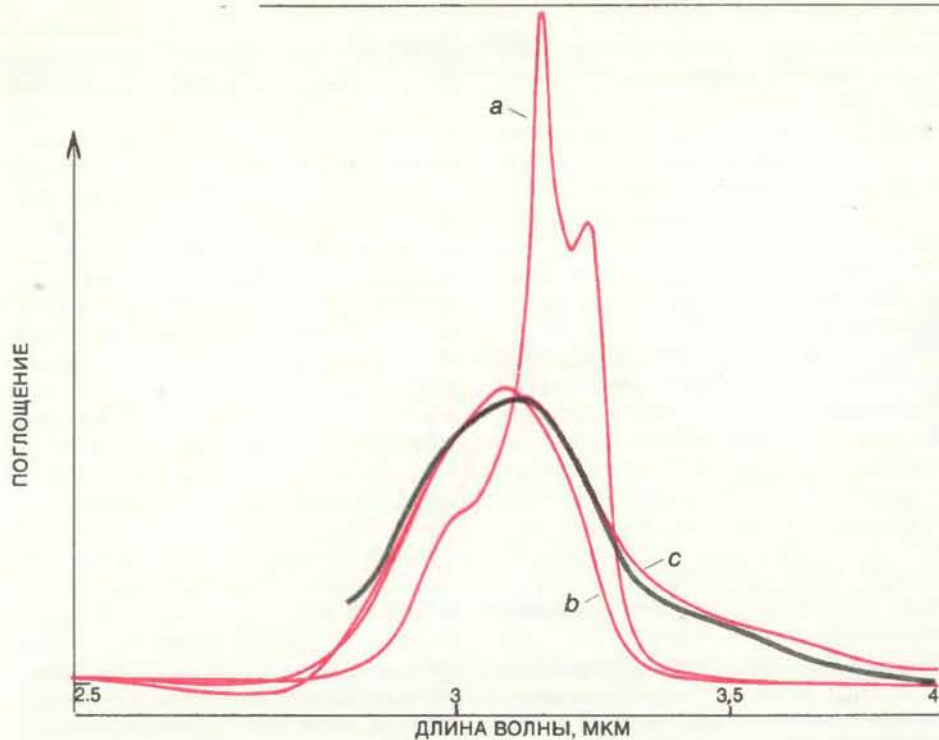
Если же температура будет медленно расти, то оболочка начнет светиться сине-зеленым светом. Работавший в нашей лаборатории Лео ван Эйзендорн объяснил это свечение выделением энергии при соединении двух радикалов НСО с образованием молекулы глиоксаля (шавелевого альдегида). Если в оболочке присутствует моноксид углерода, то молекулы СО вступают в реакцию с атомами водорода и концентрация радикала НСО увеличивается. Следующая стадия — образование формальдегида H_2CO , а также глиоксаля.

Сине-зеленое свечение — лишь малая доля энергии, выделяющейся при взаимодействии радикалов. Остальная энергия идет на нагрев частиц. Если нагрев происходит достаточно быстро, то высвобождается большое количество радикалов и может произойти взрыв. Некоторые аспекты взрывов были выявлены по фильмам, снятым Л. д'Андкурром. Основной взрыв происходит в той части оболочки, где температура поднимается примерно до 25 К. Вещество оболочки покидает конденсирующий элемент, оставляя пустую поверхность. В другом месте вещество налипаает, и мелкие локальные и диффузные вспышки показывают, что радикалы способны существо-

вать до тех пор, пока температура не поднимется до 100 К. Интересное наблюдение состоит в том, что эффективность образования радикалов в оболочке под действием ультрафиолетового излучения составляет 10%, по крайней мере до тех пор, пока в оболочке не наступит насыщение радикалами, т.е. достаточно 10 фотонов, чтобы в смеси образовался один радикал.

Когда облученное, подвергшееся фотолизу вещество нагревается достаточно медленно (чтобы предотвратить убегание частиц и взрыв), появляется осадок желтого цвета, который существует сколь угодно долго даже при комнатной температуре (295 К). По нашему мнению, этот осадок представляет собой смесь сложных органических молекул, синтезированных при фотолизе пылинок в искусственной межзвездной среде. Наша работа имеет много общего с экспериментом С. Миллера и Г. Юри по моделированию образования органических молекул в атмосфере первичной Земли. Они пропускali электрические разряды сквозь смесь паров воды, метана, аммиака и других молекул.

По разности потоков ультрафиолетового излучения в лабораторном эксперименте и в межзвездной среде можно оценить темп превращения простых летучих молекул в сложные органические соединения при фотолизе в космическом пространстве. В межзвездном облаке от 1 до 10% простых молекул превращаются в сложные за 10 млн.



СПЕКТР ОБЪЕКТА БЕКЛИНА — НЕЙГЕБАУЭРА — инфракрасного источника в созвездии Ориона, в котором впервые были открыты молекулы H_2O в межзвездном пространстве. Спектр — кривая серого цвета с пиком при $\sim 3,1$ мкм. Поглощение света на этой длине волны обусловлено колебаниями связи $O-H$ молекул H_2O водяного льда. Для сравнения приведены три лабораторных спектра. Спектр кристаллов льда (а) сильно отличается от соответствующей кривой для межзвездных молекул. Его пик при $3,1$ мкм очень острый и узкий. Спектр аморфного водяного льда (b), полученного путем осаждения на конденсирующем элементе при температуре 10 К, лучше совпадает с серой кривой. В большей степени этой кривой соответствует спектр смеси H_2O , CH_4 и NH_3 в соотношении $6:1:3$ (с).

лет. В этом и состоит объяснение отсутствия водяного льда в частицах межзвездной пыли: лед и другие небольшие молекулы превратились в более сложные химические соединения.

АНАЛИЗ и определение химического состава полученного нами осадка, который мы назвали желтым веществом, затруднен тем, что оно образуется в очень небольшом количестве. Тем не менее мы установили, что по астрономическим стандартам этот осадок нелетуч и может выдержать гораздо более суровые условия, чем ледяная оболочка. Так, водяной лед испаряется в межзвездной среде примерно при 90 К, а желтое вещество не испаряется, пока температура не превысит 450 К. Кроме того, из физического и химического анализа следует, что этот осадок заметно обогащен углеродом. Масс-спектроскопические исследования образца, выполненные де Йонгом из Лейденского университета, показали, что содержание углерода в нем в два раза выше, чем кислорода. Но в межзвездной среде (и в нашей исходной газовой смеси) кислорода в два раза больше, чем углерода, следовательно, в желтом веществе содержание кислорода уменьшилось в четыре раза. В настоящее время в Лейдене в сотрудничестве с Дж. Феррисом из Ренсселеровского политехнического института ве-

дутся систематические исследования химических свойств желтого вещества. Мы также получаем осадки все более сложного состава и подвергаем их длительному облучению ультрафиолетовым излучением, чтобы проследить их дальнейшую эволюцию в условиях искусственной межзвездной среды.

Благодаря результатам наших экспериментов теперь появилась возможность теоретически интерпретировать астрономические наблюдения и разработать сценарий эволюции межзвездных частиц и газо-пылевых облаков, в которых они находятся. Рассмотрим сначала облака. Их эволюция зависит от процессов, протекающих в Галактике. Облака соударяются друг с другом, взаимодействуют со звездами, а в самых больших масштабах, обращаясь вокруг центра Галактики, они подвергаются действию гравитационных и гидродинамических сил. Вероятно, плотные облака образуются из диффузных. Затем в самых плотных из них вследствие гравитационного коллапса рождаются звезды. Когда в звезде начинаются реакции термоядерного синтеза, остатки вещества облака возвращаются в межзвездную среду. Часто это вещество выбрасывается ударными волнами, а также в виде звездного ветра — потока газа и твердых частиц — истекает из новорожденной звезды. Нагретое, находящееся в среде

с низким давлением, это вещество расширяется. В результате образуется межзвездное газо-пылевое облако — цикл замыкается.

Этот цикл может повторяться вновь и вновь, но каждый раз на звездообразование расходуется часть межзвездного газа и пыли. По современным оценкам, в нашей Галактике ежегодно рождаются одна-две звезды. Отсюда следует, что все запасы газо-пылевой материи, содержащейся в межзвездной среде, будут израсходованы через $5 \cdot 10^9$ лет (что приблизительно равно возрасту Земли). Следовательно, средняя продолжительность жизни частицы межзвездной пыли не может превосходить это значение. Кроме того, каждая фаза эволюции межзвездного облака по порядку величины длится не более 10^8 лет, поэтому у пылевой частицы может быть богатая событиями «биография»: она может 25 раз попадать в межзвездное облако и покидать его, прежде чем наконец войдет в состав звезды.

Проследим «жизненный путь» частицы в одном из этих циклов. Он начинается в диффузном облаке. Будем считать, что пылинка уже прошла по крайней мере один цикл с момента появления на свет в виде силикатного зародыша в атмосфере сильно проэволюционировавшего сверхгиганта. Таким образом, у пылинки есть оболочка, и, поскольку в инфракрасной области ее спектра нет никаких признаков воды, примем, что оболочка состоит из желтого вещества. Расчеты показывают, что эти пылевые частицы, состоящие из ядра и оболочки (а также небольшие углеродные и силикатные частицы, ответственные за экстинкцию звездного излучения в ультрафиолетовой области) содержат около 20% всего кислорода, 70% всего углерода и почти 100% кремния, магния и железа нашей Галактики. Поэтому содержание газообразных химических элементов в облаке сильно отличается от их относительной распространенности в Галактике. Наблюдения диффузных облаков подтверждают это предположение. Отношение содержания кислорода и углерода в диффузном облаке составляет 5:1.

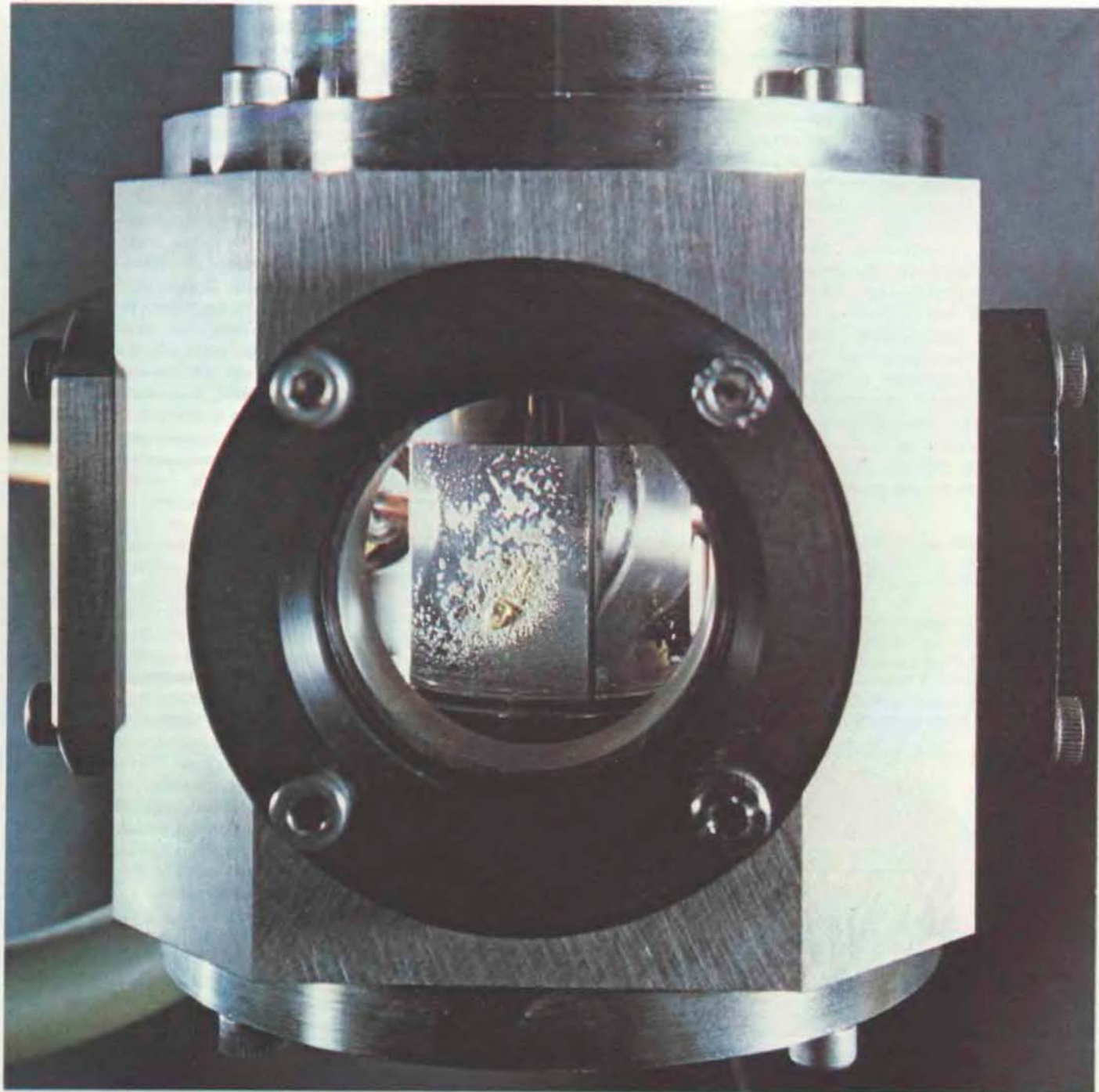
Из содержания газообразного кислорода следует, что, когда облако становится достаточно плотным и начинают образовываться молекулы, пары воды должны быть в избытке. Почему же вода не обнаруживается? Наблюдения пылевых частиц в инфракрасном диапазоне, выполненные Д. Уиттетом с сотрудниками из Престонского политехнического института в Веллсберри, показали, что в спектрах частиц межзвездной пыли в обычных молекулярных облаках (не обязательно в тех, в которых образуются звезды) имеется полоса поглощения льда при

3 мкм. По-видимому, молекулы воды образуются на пылевых частицах, состоящих из ядра и оболочки. Мы изучаем эту возможность. К. Тиленс и д'Анджур построили схему химических реакций, происходящих не только в газовой фазе, но и на поверхности пылинки, а также внутри их. Мы считаем, что в молекулярном облаке пылевая частица, как правило, имеет две оболочки — внутреннюю оболочку из желтого вещества и внешнюю оболочку, содержащую значительное количество воды.

УВЕЛИЧЕНИЕ размеров межзвездной пылинки, обусловленное ростом внешней оболочки, должно изменять кривую экстинкции видимого света. Поэтому можно ожидать, что существует корреляция между картиной экстинкции в видимой области спектра и интенсивностью поглощения водяного льда при длине волны 3 мкм. В ряде астрономических наблюдений это предсказание подтверждается. Кроме того, из теоретических расчетов, выполненных в Лейденском университете ван де Бюлтом и мною, следует, что

внешние оболочки пылевых частиц в протозвездных облаках, таких, как объект Беклина — Нейгебауэра, а также в более разреженных облаках должны на 60% состоять из воды. Далее, в исследованиях Дж. ван де Звета и Баса выявлены надежные свидетельства присутствия молекул H_2CO в твердой оболочке. Все вышесказанное, по-видимому, подтверждает существование внешней оболочки у пылевой частицы.

В то же время существование внешней оболочки ставит новый вопрос: что



«ЖЕЛТОЕ ВЕЩЕСТВО», полученное при медленном облучении ледяной оболочки пылевых частиц. Показана поверхность конденсирующего элемента в камере, моделирующей межзвездную среду. Анализ затруднен тем, что в каждом эксперименте образуется очень небольшое количество желтого вещества. В общем это сложная смесь органических

молекул, обогащенная углеродом по сравнению с его содержанием в межзвездной среде. Желтое вещество очень устойчиво даже при комнатной температуре. Несомненно, оно способно «выжить» в суровых условиях межзвездного пространства.

мешает ей расти до тех пор, пока не истощатся все запасы конденсируемого газа в облаке? В частности, что мешает «налипанию» газообразных молекул на оболочку или, если они все-таки налипают, что заставляет их покинуть оболочку? Выдвигалось немало предположений, но в молекулярном облаке лишь один механизм может быть достаточно эффективен, чтобы играть важную роль, — это взрыв оболочки. Все начинается тогда, когда у частицы в результате аккреции атомов и молекул впервые появляется оболочка. В ходе аккреции пылевая частица облучается ультрафиолетовым излучением. Таким образом, в оболочке накапливается некоторая доля свободных радикалов (пока она еще очень холодная). Затем происходит какое-то событие, внезапно повышающее температуру пылинки. Согласно нашим экспериментам, увеличения температуры всего лишь на 15 К достаточно, чтобы вызвать взрыв в оболочке.

Отличным «спусковым механизмом» может служить соударение пылинки с относительной скоростью 50—100 м/с. Такая скорость в 1000 раз превосходит характерную тепловую скорость твердых частиц в облаке при температуре, например, 100 К. Тем не менее такая скорость возможна: к ней может привести турбулентность в облаке. (Уширение деталей линий в спектре молекулярных облаков подтверждает, что в газе происходят ви-

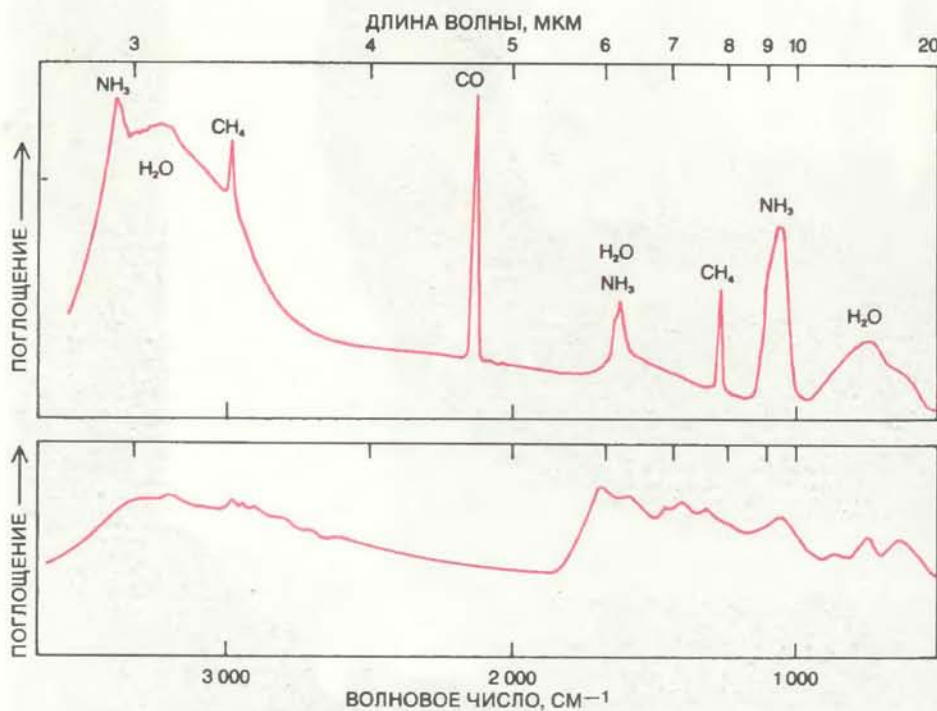
хреобразные движения со скоростью несколько тысяч метров в секунду. Несомненно, частицы увлекаются газом, но из-за проскальзывания относительная скорость частиц по порядку величины будет составлять 1/10 турбулентной скорости.) Кроме того, соударения не должны быть очень частыми, чтобы могло установиться равновесие между медленной, но непрерывной аккрецией газа на пылевые частицы и спонтанным выбросом вещества обратно в газовое облако. Достаточно взрыва одной пылевой частицы из 10 один раз в миллион лет, чтобы установилась наблюдаемая концентрация молекул в газообразном состоянии.

За время пребывания в молекулярном облаке пылевая частица не только играет роль «посредника» при образовании газообразных молекул. В ее оболочке образуются сложные соединения. При каждом соударении или каком-либо другом событии, ведущем к взрыву пылинки, могут происходить многие не столь катастрофические процессы, такие, как слабое соударение, ведущее к самоограничивающей последовательности реакций и медленному образованию оболочки более сложного состава. За среднее время жизни 10^7 лет пылинки, вероятно, подвергается 10 взрывам. За этот же период она, возможно, испытывает несколько сотен раз повышение температуры. В результате ее химический состав должен значительно меняться.

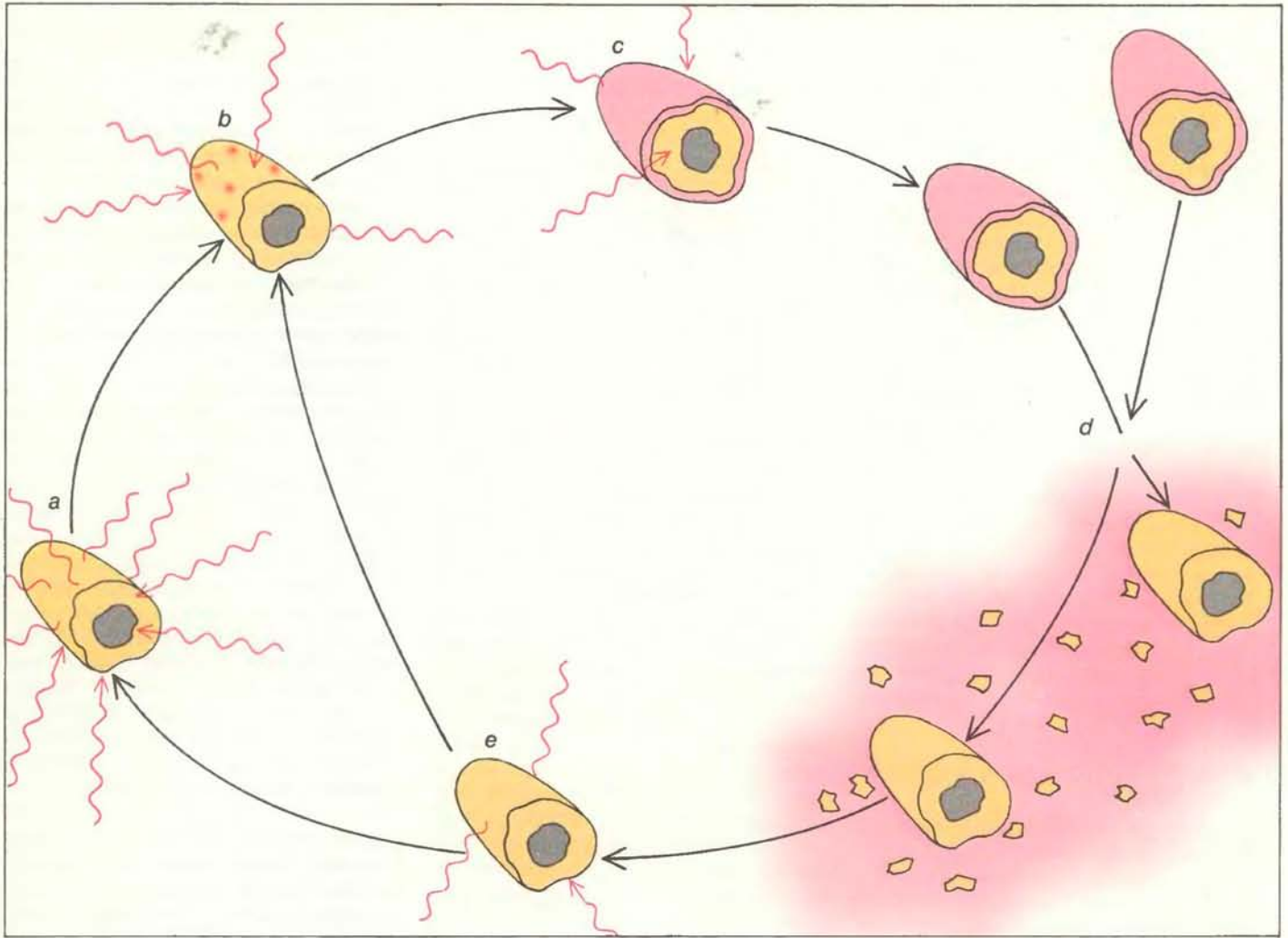
ТЕПЕРЬ я подошел к описанию событий, которые происходят, когда в областях локальной конденсации или узелках высокой плотности в молекулярном облаке создаются условия, необходимые для окончательного сжатия вещества в звезду или группу звезд. К этому моменту темп аккреции газообразных молекул газа на пылевых частицах может возрасти до такой степени, что лишь водород и гелий останутся незахваченными. Вскоре некоторые из сильно выросших пылевых частиц увлекаются потоком коллапсирующего газа и становятся частью протозвезды. Затем, когда в звезде начинаются реакции термоядерного синтеза, они испаряются; при этом происходит распад молекул на атомы. Некоторым пылинкам удается ускользнуть в межзвездное пространство. Их размеры также больше средних. Но вскоре и они подвергаются разнообразным процессам разрушения и эрозии. Так, все летучие компоненты пылевой частицы, находящейся вблизи новорожденной звезды, должны испариться под действием ее тепла. Другие пылинки, расположенные на большем расстоянии от протозвезд, могут сохранить свои размеры оболочки, в том числе и содержащиеся в них летучие вещества, такие, как H_2O . Этим, возможно, объясняется тот факт, что в спектрах пылинок, наблюдаемых в направлении на сильный источник инфракрасного излучения (преимущественно протозвезду или очень молодую звезду), появляется интенсивная полоса поглощения водяного льда при длине волны 3,1 мкм.

Комплекс молекулярных облаков и непрерывно рождающихся звезд существует по порядку величины 10^8 лет. В конце этого периода он покидает спиральный рукав. (Считается, что спиральный узор Галактики представляет собой волны плотности, скорость вращения которых вокруг центра Галактики в два раза меньше, чем составляющего ее вещества. Потому вещество периодически проходит через спиральные рукава. Примерно 10^8 лет спустя оно покидает спиральный рукав, выходя с его переднего края в межрукавное пространство.) Оказавшись в межрукавном пространстве, где плотность ниже, вещество диссипирует. Пылевые частицы вновь попадают в диффузное облако и быстро теряют все летучие компоненты, еще оставшиеся на их поверхности. Кроме того, происходят процессы эрозии, например при столкновениях облаков или под действием ударных волн, генерируемых взрывами сверхновых. В результате толщина оболочки из желтого вещества может постепенно уменьшаться.

Ряд исследователей делали оценки темпа эрозии, но физическая природа этого процесса известна плохо. Работы Э. Салпитера и Б. Дрейна из Кор-

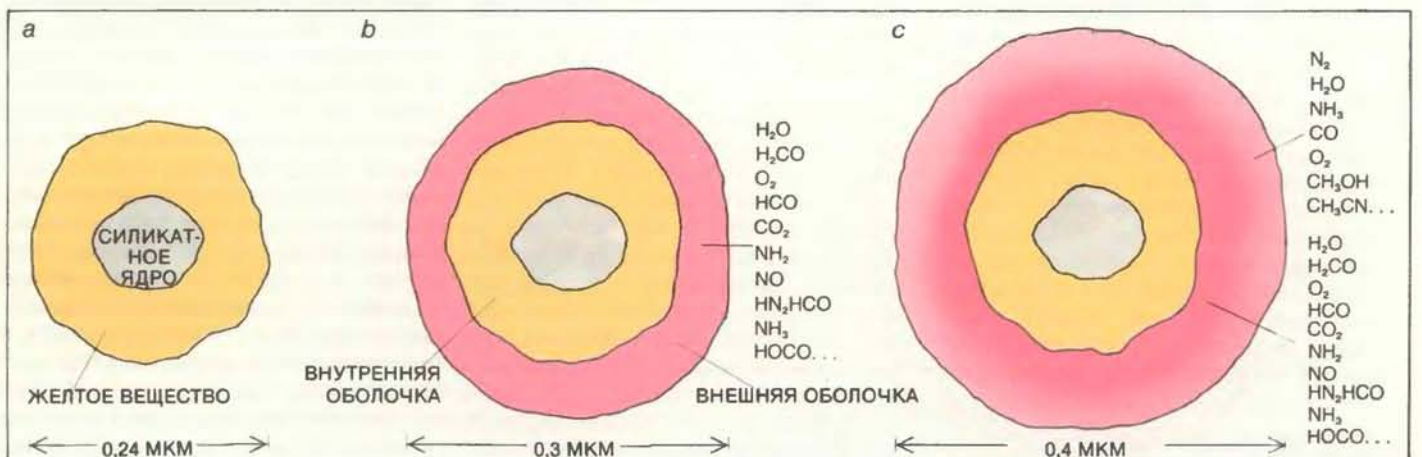


ИНФРАКРАСНЫЙ СПЕКТР ЖЕЛТОГО ВЕЩЕСТВА (внизу) по сравнению со спектром смеси, содержащей кислород, углерод и азот в таком же соотношении (вверху). Верхний спектр имеет заметную полосу поглощения водяного льда при 3,1 мкм. В нижнем спектре эта полоса отсутствует. Очевидно, в желтом веществе почти весь кислород связан в органических молекулах. Возможно, вода в межзвездных пылевых частицах не обнаруживается из-за высокого содержания в них желтого вещества.



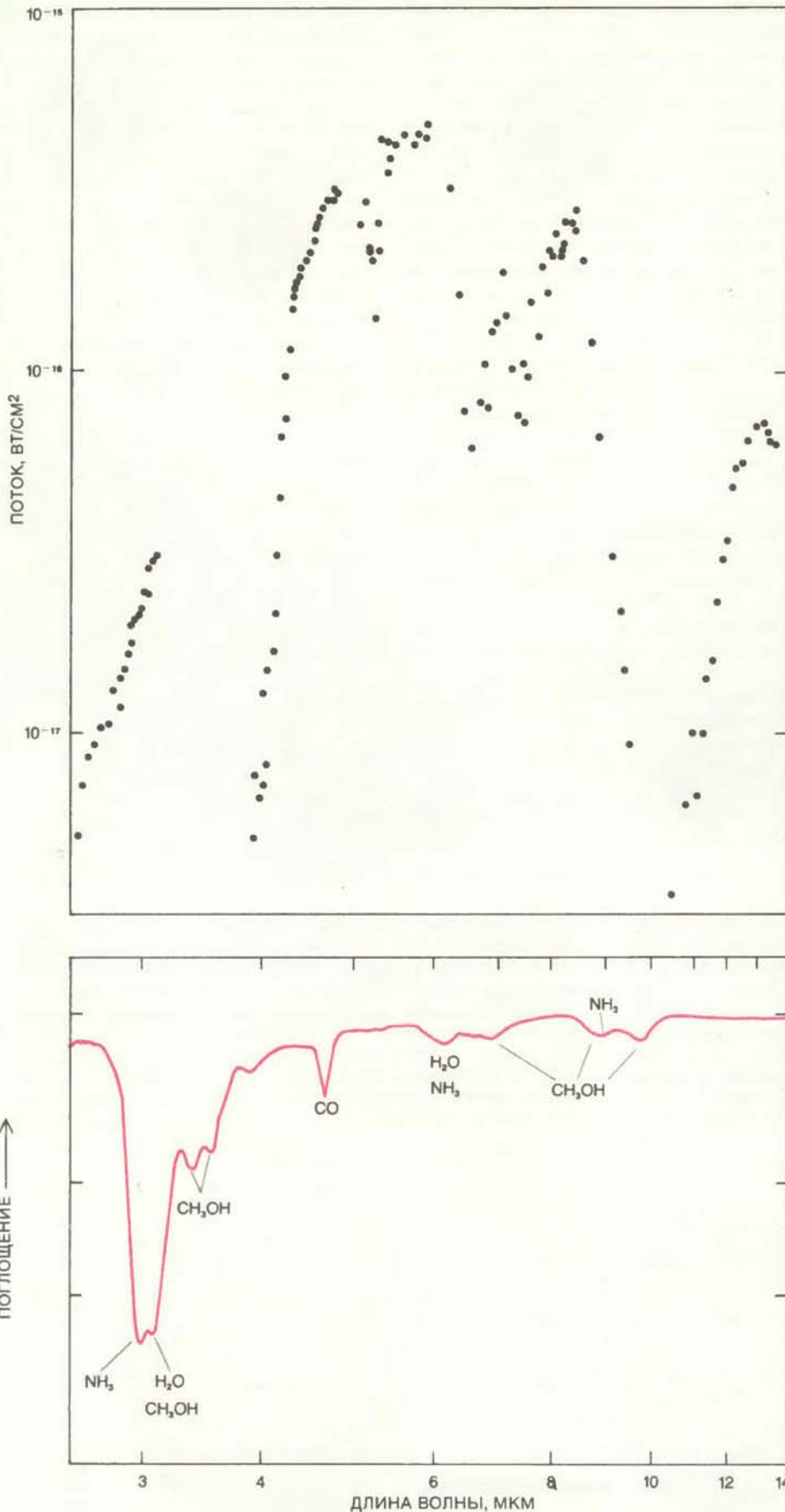
СВОЙ «ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ» МЕЖЗВЕЗДНЫЕ ПЫЛЕВЫЕ ЧАСТИЦЫ начинают в диффузном облаке, затем они попадают в плотное облако и в конце концов, если не войдут в состав новорожденной звезды, вновь оказываются в диффузном облаке. Они ведут свое начало от силикатных частиц (а) и показаны с оболочкой из желтого вещества, сохранившейся от предыдущего цикла. Облако становится плотнее, темп аккреции вещества увеличивается, и частицы покрываются слоем льда (b, c). В конце концов облако становится достаточно плотным, чтобы из газообразной со-

ставляющей могли образоваться молекулы. Под действием ультрафиолетового излучения в ледяной оболочке появляются радикалы. В результате случайных столкновений оболочка достаточно нагревается для того, чтобы радикалы рекомбинировали с выделением энергии. Иногда оболочка взрывается, пополняя газообразную составляющую облака (d). В самых плотных областях облака в результате гравитационного коллапса газа и пыли образуются звезды. Под влиянием тепла этих звезд ледяная оболочка испаряется и остается желтое вещество (e). Таким образом цикл замыкается.



ПЫЛЕВЫЕ ЧАСТИЦЫ В РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАКАХ, по-видимому, имеют разную структуру в зависимости от стадии их жизненного цикла. Пылинки в диффузном облаке состоят из силикатного ядра и оболочки из желтого вещества (а). Пылинки в молекулярных облаках помимо силикатно-

го ядра и оболочки из желтого вещества имеют внешнюю оболочку, состоящую из ледяных конденсатов, подвергшихся действию ультрафиолетового излучения (b). Пылинки в плотных облаках, из которых могут образоваться звезды, обладают еще более сложной внешней оболочкой (c).



В СПЕКТРЕ ИНФРАКРАСНОГО ИСТОЧНИКА W 33A (вверху) виден ряд деталей, особенно линии поглощения в инфракрасной области при 3,1; 4,6; 6,0; 6,8 и 10 мкм. Источник W 33A — это, по-видимому, очень молодая звезда, погруженная в молекулярное облако. В лабораторном спектре смеси молекул H_2O , CO , CH_3OH и NH_3 в соотношении 6:3:3:2 (внизу) имеются четыре линии, такие же, как в спектре W 33A. По-видимому, они обусловлены ледяной оболочкой пылевых частиц. Поглощение при 10 мкм можно приписать их силикатному ядру. Спектр W 33A получен Б. Сойфером с сотрудниками из Калифорнийского технологического института.

нелского университета показали, что желтое вещество в диффузных облаках разрушается с такой же скоростью, с какой оно образуется в молекулярных облаках. По расчетам, межзвездная пылинка проводит примерно половину времени жизни в диффузных облаках и половину — в молекулярных облаках. Отсюда можно заключить, что типичная пылинка имеет в среднем устойчивый химический состав. Поэтому не удивительно, что кривая межзвездной экстинкции практически не зависит от выбранного направления в диффузной межзвездной среде.

Желтое вещество представляет собой важную составляющую межзвездных пылинок: на его долю приходится почти 1% полной массы вещества в Галактике. Точнее, его масса превышает массу всех планет в Галактике. К сожалению, нельзя взять пробы желтого вещества с помощью космического аппарата. Звездолет, снабженный парусом площадью 100 м^2 и движущийся со скоростью 1 км/с , мог бы собрать за год 10^{11} г желтого вещества в окрестностях Солнечной системы. Может быть, мы станем обладателями образца такого вещества, если космический аппарат «возьмет на бордаж» кусок кометы и доставит его на Землю.

КОМЕТЫ состоят из межзвездной пыли. В частности, теоретические исследования Л. Бирмана из Института физики и астрофизики Макса Планка и Л. Местела из Сассекского университета свидетельствуют в пользу гипотезы, согласно которой кометы образовались почти одновременно с планетами, причем непосредственно из пылевых частиц в плотном межзвездном облаке, гравитационно связанном с протосолнечной туманностью (газопылевым облаком, из которого конденсировалась Солнечная система). В настоящее время кометы образуют облако Оорта. Это область, содержащая 10^{11} – 10^{12} комет, обращающихся по произвольным орбитам вокруг Солнца на расстояниях, примерно равных половине расстояния до ближайших звезд. В результате возмущений этих далеких орбит некоторые кометы появляются вблизи Солнца. Очень важный факт состоит в том, что кометы не только рождаются из холодного вещества, но и остаются холодными все 4,5 млрд. лет с момента своего появления на свет. Ядро кометы — прекрасная «холодильная установка» для хранения пылевых частиц из протосолнечной туманности. Даже кометы, орбиты которых проходят очень близко к Солнцу, должны в значительной мере сохранить свой первичный химический состав.

Ядро кометы — это твердое образование радиусом не более нескольких километров. Непосредственно о нем ни-

чего не известно. Наблюдаются лишь газ и пыль в голове и хвосте кометы, т.е. вещество, которое испаряется, или истекает, из ядра, когда комета подходит близко к Солнцу. Вероятно, единственное предположение, вызывающее меньше всего сомнений, состоит в том, что ядро кометы включает значительное количество водяного льда. В 50-х годах Ф. Уипл из Гарвардского университета разработал модель ледяного ядра, согласно которой комета похожа на грязный снежный ком. Мое предположение основано на гипотетическом химическом составе пылевых частиц, проэволюционировавших до стадии протосолнечной туманности. Я полагаю, что около 30% ядра кометы по объему составляет вода, около 20% приходится на долю желтого вещества, около 8% — на долю силикатов, около 3% — на долю углерода. Остальные 40% составляют молекулы CO, CO₂, H₂CO и радикалы, такие, как HCO.

Распределение углерода в такой комете было похоже на распределение углерода в полностью проэволюционировавших межзвездных пылинках. Часть его входила бы в состав летучих соединений CO, CO₂ и H₂CO, часть — в желтое вещество, а часть представляла бы чистый углерод. Таким распределением углерода можно объяснить так называемую проблему «недостающего углерода» в кометах (термин, предложенный А. Делсеме из Толедского университета). Дело в том, что относительное содержание углерода и кислорода в комете (определенное по ее спектру) значительно ниже характерного отношения для Солнечной системы. По-видимому в спектрах комет дает о себе знать лишь углерод, входящий в состав летучих веществ, а почти половина кометного углерода связана в желтом веществе.

ЕЩЕ ОДНО свидетельство того, что кометы состоят из частиц межзвездной пыли, приводят М. А'Хирн из Мэрилендского университета в Колледж-Парке и П. Фелдман из Университета Джонса Гопкинса. Они нашли, что в кометах присутствуют двухатомные молекулы серы S₂, и считают, что такие молекулы могут образовываться лишь в твердом веществе под действием ультрафиолетового излучения.

Тем временем выяснилось, что кометы и Землю связывают «тесные узы». Недавно была выдвинута гипотеза, согласно которой столкновения Земли с кометами, происходящие каждые 26 млн. лет, явились причиной вымирания многих биологических видов, в том числе динозавров. Такие столкновения, по-видимому, происходили довольно часто, когда Земля была очень молодой, и кометы снабжали ее межзвездной пылью в большом количестве.

Дошкольное воспитание и болезни

В ПОСЛЕДНИЕ годы много занимаются ранним социальным и психическим развитием детей, посещающих дневные учреждения для детей дошкольного возраста. Гораздо меньше обращают внимание на тот факт, что пребывание ребенка в дневное время вне дома имеет не только социальные, но и эпидемиологические последствия. По данным, опубликованным в "Journal of the American Medical Association", характер распространения некоторых заболеваний меняется не только среди детей, но и среди их родителей. В результате тесных контактов дошкольников в детских учреждениях сдвигается возрастной спектр заболеваемости детей. Отмечаются и вспышки определенных заболеваний среди взрослых вследствие быстрого распространения микроорганизмов в контингентах детских учреждений и через детей среди их родителей.

Как пример такого заболевания можно назвать инфекцию, вызываемую бактерией *Hemophilus influenza* типа В. Несмотря на свое название, бактерия не вызывает гриппа, но может привести к тяжелой форме менингита. Прежде, когда не было детских дневных учреждений, инфекция этим микроорганизмом обычно наблюдалась среди детей в возрасте от 6 месяцев до года. Обследование, проведенное Отделом здравоохранения шт. Колорадо и системой центров по изучению болезней (CDC), показало, что теперь это заболевание встречается и у детей старше 2 лет, причем риск заболеть для детей, посещающих дневные учреждения, примерно в 12 раз выше, чем для находящихся дома. Полагают, что повышение заболеваемости обусловлено контактами с маленькими детьми, представляющими собой резервуар инфекции.

Другой пример — гепатит А, который для взрослых гораздо опаснее, чем для детей. Гепатит А — это менее тяжелая из двух форм гепатита, у детей он часто протекает бессимптомно, а у взрослых, напротив, имеют место острые приступы недомогания, сопровождающиеся повышением температуры и увеличением печени. Вирус, вызывающий гепатит А, передается с выделениями из кишечника больных или инфицированных людей, поэтому вспышка гепатита среди детей, посещающих дневное детское учреждение, может возникнуть, если среди них есть неприученные правильно пользоваться туалетом. Взрослые в свою очередь могут заразиться от детей — бациллоносителей с бессимптомным течением болезни. Ра-

бота, проделанная сотрудником CDC С. Хэдлером, показала, что за последние годы по крайней мере одна треть вспышек гепатита А в США возникла в дневных учреждениях для детей дошкольного возраста.

Показано также, что детские учреждения играют большую роль в распространении инфекций, вызываемых цитомегаловирусом, и некоторых форм энтерита. Однако такие учреждения вовсе не следует ликвидировать. Частота тяжелых инфекций, вызываемых бактерией *Hemophilus*, у детей младше 4 лет составляет примерно не более чем 1:1000 в год, а частота гепатита А в США, по-видимому, не возрастает, а скорее даже несколько снижается. По мнению Хэдлера, полученные данные не нужно считать основанием для закрытия детских дневных учреждений, но врачи и родители должны обратить внимание на проблему распространения инфекций, для разрешения которой требуются их объединенные усилия.

Найден рецептор

ВИММУННОЙ системе млекопитающих имеются два вида клеток, способных распознавать антигены и отвечать на их присутствие. Это В-лимфоциты, в которых синтезируются антитела, и Т-лимфоциты, регулирующие активность В-клеток и разрушающие собственные дефектные и инородные клетки. Природа рецептора В-клетки, т.е. находящейся на ее поверхности молекулы антитела, узнающего определенный антиген, известна уже давно: рецептор представляет собой иммуноглобулин. На поверхности каждой В-клетки располагается множество копий генетически запрограммированного, ей одной свойственного иммуноглобулина. Связывание антигена с одним из рецепторов служит сигналом к образованию из этого лимфоцита клона плазматических клеток, секретирующих антитела одного определенного типа. Таким же антигеном может стимулироваться и активность Т-клеток, поэтому долгое время считали, что рецептором Т-лимфоцита также является молекула антитела или ее часть. Однако попытки обнаружить такие молекулы на поверхности Т-лимфоцитов с помощью антител против иммуноглобулинов или же найти их гены путем гибридизации с последовательностями ДНК, в которых закодированы различные иммуноглобулины, не принесли успеха, и рецепторы Т-лимфоцитов оставались загадкой.

За последние полтора года появились данные, проливающие некоторый свет на природу этого неуловимого ре-

цептора. Нескольким исследователям удалось получить моноклональные антитела, которые узнают отдельный Т-лимфоцит и тормозят его иммунный ответ. Структуры, с которыми связывались эти антитела, сами похожи на антитела: они состоят из двух гликопротеинов (т.е. белков, содержащих углеводные группы), соединенных дисульфидными связями, причем в каждой цепи имеются «варибельные» и «константные» участки, характерные для иммуноглобулинов. В журнале "Nature" опубликованы сообщения двух групп исследователей, независимо получивших более определенные данные о молекулярной природе рецептора. Как часто бывает, авторы «подобрались» к рецептору непрямым путем: вначале была выделена ДНК, которая предположительно кодировала его белки.

М. Дэвис, С. Хедрик и их коллеги (ранее они работали в Национальном институте аллергии и инфекционных болезней) рассуждали следующим образом. Искомые гены рецепторов могут экспрессироваться в Т-клетках, но не в В-клетках, и мРНК для белков поверхностных рецепторов клетки должна быть связана с системой мембран клетки, а не находиться в свободном виде в ее цитоплазме. Гены белков рецепторов должны быть «перестроены» в Т-клетке (но не в других клетках), подобно тому как гены антител «перестроены» в В-клетках таким образом, что обеспечивают узнавание множества разнообразных антигенов. Наконец, в генах должны быть последовательности, кодирующие как варибельные, так и константные области белка.

Дэвис и его сотрудники выделили связанную с мембраной РНК из клеток мышинной Т-гибридомы. (Такие клетки, образующиеся в результате слияния Т-лимфоцитов с соответствующими злокачественными клетками, реагируют на антиген так же, как Т-лимфоциты, но в отличие от Т-клеток их можно поддерживать в культуре сколь угодно долго.) Исследователи провели обратную транскрипцию РНК, получили комплементарную ДНК (кДНК), поместили ее радиоактивным изотопом и удалили из нее все те последовательности, которые являются общими для Т- и В-клеток. Таким образом получилась специфичная меченая ДНК-проба, с помощью которой можно было выявить поверхностные белки Т-клеток. Этой пробой просканировали «библиотеку» клонированных ДНК Т-клеток и удалось выделить ряд хорошо гибридизующихся с пробой и, следовательно, гомологичных ей клонов ДНК. Один из них оказался перестроенным в процессе развития Т-клетки, точно так же, как в В-клетке перестраивается ДНК иммуноглобулина. Была определена последовательность нуклеотидов

в перестроенной ДНК и исходя из этого установлена последовательность аминокислот в соответствующем белке.

Этот белок близкородствен легкой цепи иммуноглобулина мыши, в нем также есть характерные варибельные и константные области и даже соединительный участок между ними. Кроме того, имеются сайты для образования дисульфидных связей в соответствующих местах и гидрофобный «хвост», которым, вероятно, белок закрепляется на плазматической мембране клетки. Другими словами, он, по-видимому, представляет собой одну из двух полипептидных цепей рецептора Т-клеток, аналогичного иммуноглобулину В-клетки.

Сходные результаты одновременно получил Т. Мак с сотрудниками в Институте рака провинции Онтарио и Торонтском университете. Они выделили кДНК, специфичную для Т-клеток, секвенировали несколько клонов и обнаружили клон, похожий на ген иммуноглобулина. Кодированный этой последова-

тельностью белок имеет гомологии с легкими цепями иммуноглобулинов мыши и человека. Мак сделал вывод, что он является частью рецептора Т-лимфоцита.

Интересно, что несмотря на близкое сходство между цепью иммуноглобулина и последовательностью рецепторных белков Т-клеток, предсказанной по последовательности кДНК, Мак обнаружил, что их кДНК не гибридизуется с мРНК иммуноглобулина. Он отмечает, что на нуклеотидном уровне сходство гораздо труднее обнаружить, чем на аминокислотном. Дело, по-видимому, в вырожденности генетического кода: большинство аминокислот кодируется более чем одним триплетом нуклеотидов, поэтому различающиеся нуклеотидные последовательности могут соответствовать очень похожим белкам. Этим, возможно, и объясняются прежние неудачи в поисках генов Т-клеточных рецепторов в ДНК Т-клеток с помощью иммуноглобулиновой ДНК в качестве пробы.

Издательство МИР предлагает:

Дж. Коллинз

ПОВРЕЖДЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ В КОНСТРУКЦИЯХ.

Анализ, предсказание, предотвращение

Перевод с английского

Монография американского ученого написана по материалам курса лекций, читавшегося автором в ряде университетов США. В ней систематически излагаются методы исследования различных видов механического повреждения материалов — хрупкое разрушение, износ, усталость, ползучесть, выпучивание. Большое место в книге отведено усталости — многоциклового и малоциклового, привлекаются различные линейные и нелинейные представления о накоплении усталостных повреждений, приводится статистический анализ разрушения в условиях повторного нагружения. Книга отличается широтой охвата рассматриваемых проблем, сложный материал представлен ясно и доходчиво. В каждой главе представлены подробно разнообразные примеры, а также многочисленные упражнения по изложенному материалу. Подобных изданий по разрушению в мировой литературе не было.

Оглавление: Гл. 1. Роль исследований разрушения при проектировании конструкций. Гл. 2. Виды механического разрушения. Гл. 3. Прочность и деформация материалов. Гл. 4. Напряженное состояние. Гл. 5. Зависимость между напряжениями и деформациями. Гл. 6. Гипотезы разрушения при сложном напряженном состоянии и их использование в расчетах. Гл. 7. Многоцикловая усталость. Гл. 8. Вопросы накопления повреждений, оценки долговечности и контроля разрушения. Гл. 9. Применение статистики в исследованиях усталости. Гл. 10. Методы усталостных испытаний и статистическая обработка результатов испытаний. Гл. 11. Малоцикловая усталость. Гл. 12. Концентрация напряжений. Гл. 13. Ползучесть, разрыв при ползучести и усталость. Гл. 14. Фреттинг, фреттинг-усталость и фреттинг-износ. Гл. 15. Износ. Гл. 16. Выпучивание и неустойчивость. Гл. 17. Износ и коррозия.

1984, 42 л. Цена 3 р. 70 к.



Болты и гайки

*Эти крепежные элементы с нарезанной на них резьбой
были известны еще в XV в. Но и сегодня
их конструкция и технология изготовления
продолжают совершенствоваться*

ФРЕДЕРИК Е. ГРЕЙВС

СПОСОБ механического соединения, представляющий собой комбинацию двух элементов — болта и гайки, имеет, как нам кажется, древнее происхождение и достиг на сегодняшний день полного совершенства. В действительности же болты и гайки с винтовой нарезкой появились лишь где-то в середине XV в. Тогда их изготавливали вручную, и каждую гайку можно было навинтить только на один, соответствующий именно ей болт. Хотя гаечно-болтовое (или просто болтовое) соединение является давно испытанным, в последние годы сделаны некоторые успехи в его совершенствовании. В частности, разработаны электронные устройства для автоматического контроля усилия затяжки, специальные покрытия для болтов и гаек, сконструированы новые станки для изготовления этих деталей.

Кроме болтового имеются и другие способы механического соединения, выбор которых определяется конструктивными особенностями машин, механизмов и сооружений. Достаточно вспомнить всем известные гвозди, шурупы, винты и заклепки. В этой статье мы рассмотрим только болтовое соединение, сыгравшее важнейшую роль в истории развития резьбных крепежных элементов.

Болт — это крепежная деталь, представляющая собой цилиндрический стержень с головкой и наружной резьбой. Если резьба не по всей длине болта, то диаметр в той его части, где нет нарезки, примерно такой же, как и диаметр резьбы, измеренный на вершинах ее витков. Головка болта по форме может быть квадратной, шестигранной, цилиндрической, конической, эллиптической или овальной.

Гайка — металлическая деталь, имеющая обычно квадратную или шестигранную форму, с отверстием в центре. Внутри отверстия имеется резьба, соответствующая резьбе стандартного болта. Гайки бывают различные — стопорные, с продольными шлицами, корончатые, крыльчатые и т.д. Большинство их разновидностей рассчитано на предотвращение ослабления затяжки соединения в условиях вибрации. Стопорные гайки имеют вкладыш

из нейлона или другого пластического материала для увеличения сопротивления трения при кручении. С той же целью в них может использоваться резьба с нестандартным профилем нарезки. Гайки с продольными шлицами и корончатые имеют отверстие для шплинта или контрвочной проволоки, с помощью которых они прочно удерживаются в заданном положении. И все же, несмотря на эти меры, вибрация или качание часто становятся причиной ослабления соединения.

ЧТОБЫ представить, какую важную роль в технике играют разного рода крепежные детали, отметим, что в телефонном аппарате их используется 73, посудомоечной машине — 115, холодильнике — 275, автопогрузчике с вилочным захватом — 940, крытом грузовом железнодорожном вагоне — 1200, токарно-револьверном станке — 1650, автомобиле — 3500, реактивном самолете — 1,5 млн.

Трудно вообразить, насколько широк у конструкторов выбор элементов болтовых соединений с учетом размеров, допустимых нагрузок и видов резьбы. Укажем некоторые из стандартов на болты, существующие в США. Стандарт А-307 Американского общества по испытанию материалов включает болты общего назначения из низкоуглеродистой стали диаметром от ¼ до 4 дюймов. Минимальная прочность на разрыв у таких болтов должна быть 4200 кг/см². Стандарту А-325 соответствуют болты из стали со средним содержанием углерода, рассчитанные на повышенные нагрузки и имеющие диаметр от ½ до 1½ дюйма; они предназначены для сборных стальных конструкций. Прочность на разрыв у таких болтов диаметром от ½ до 1 дюйма должна быть не менее 8400 кг/см² и 7400 кг/см² для болтов диаметром от 1½ до 1½ дюйма. Классу 8 Общества автомобильных инженеров соответствуют болты диаметром от ¼ до 1½ дюйма, рассчитанные на использование в автомобилях, сельскохозяйственной технике и различных сборных конструкциях, где болтовое соединение должно быть исключительно надежным и не ослабевать в течение длитель-

ного времени; минимальная прочность на разрыв у таких болтов равна 10 500 кг/см². Стандарты в авиационной промышленности включают болты, минимальная прочность на разрыв которых равна 13 700 или 14 500 кг/см².

О роли крепежных деталей с точки зрения экономики, можно судить по результатам недавно сделанной в Великобритании оценки, показавшей, что на соединение конструктивных элементов различных систем приходится от 20 до 40% общих расходов, связанных с изготовлением этих систем. Примерно то же самое наблюдается и в США. Значительная доля расходов приходится на оплату рабочей силы, занятой на сборочных операциях. Хотя стоимость крепежных деталей механического узла в среднем не превышает 5%, затраты рабочего времени на операции по соединению деталей составляют немногим более половины общих временных затрат на производство готовой продукции. В результате стоимость крепежных деталей, установленных в собранном изделии, увеличивается в 3—10 раз по сравнению с их номинальной стоимостью.

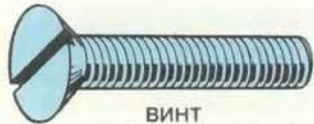
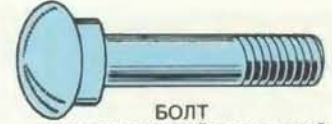
Производство крепежных деталей занимает важное место в экономике. В США примерно 625 фирм с общей численностью рабочих 50—60 тыс. ежегодно поставляют на рынок более 250 млрд. таких деталей. Потребители этой продукции платят за нее 10 млрд. долл. и гораздо больше за ее установку. Итоговая стоимость всех произведенных в стране крепежных деталей составляет 50 млрд. долл.

Хотя первые болты с резьбой появились в XV в., болты без нарезки, имеющие весьма ограниченное применение, начали использоваться значительно раньше. Такие болты применялись еще в Древнем Риме в дверных устройствах в качестве осевых стержней и установочных болтов, представляющих собой стержень с прорезью, в которую вставлялся клин, препятствующий смещению болта. Не исключено, что римляне первыми стали использовать винты для дерева (шурупы), которые изготавливались из бронзы или даже из серебра. Резьба на винтах нарезалась вручную, или ее заменяла проволока,

БОЛТЫ, ВИНТЫ, ШУРУПЫ

ВИНТ
С ПОЛУКРУГЛОЙ ГОЛОВКОЙВИНТ
С ПОТАЙНОЙ ГОЛОВКОЙБОЛТ
С ШЕСТИГРАННОЙ
ГОЛОВКОЙБОЛТ
С ШЕСТИГРАННЫМ
УГЛУБЛЕНИЕМ ПОД КЛЮЧ

БОЛТ-КРОНШТЕЙН

ВИНТ
С ПОЛУПОТАЙНОЙ
ГОЛОВКОЙБОЛТ
С ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ
ГОЛОВКОЙШУРУП
С КВАДРАТНОЙ ГОЛОВКОЙ
ПОД КЛЮЧВИНТ
С ПОТАЙНОЙ ГОЛОВКОЙВИНТ
С ПОЛУКРУГЛОЙ ГОЛОВКОЙБОЛТ
С ПОЛУКРУГЛОЙ ГОЛОВКОЙ
И КВАДРАТНЫМ ПОДГОЛОВКОМБОЛТ
С ПОЛУКРУГЛОЙ ГОЛОВКОЙ
И ОВАЛЬНЫМ ПОДГОЛОВКОМ

ФОРМЫ ГОЛОВОК



ПОЛУКРУГЛАЯ



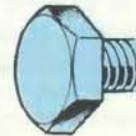
ПОТАЙНАЯ



ПОЛУПОТАЙНАЯ



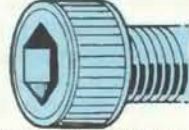
ДИСКОВАЯ

ЦИЛИНДРИ
ЧЕСКАЯБОЛЬШАЯ
ПОЛУКРУГЛАЯ

ШЕСТИГРАННАЯ

С НЕОТДЕЛИМОЙ
ШАЙБОЙ

КОНСТРУКЦИЯ ГОЛОВОК

С ПРЯМЫМ
ШЛИЦЕМ
ПОД ОТВЕРТКУС КРЕСТОБРАЗНЫМ
ШЛИЦЕМС ШЕСТИГРАННЫМ УГЛУБЛЕНИЕМ
ПОД ТОРЦЕВОЙ КЛЮЧШЕСТИГРАННАЯ
ПОД КЛЮЧС ФАСОННЫМ
ШЛИЦЕМ

ШАЙБЫ



ПРУЖИННАЯ



ПЛОСКАЯ

СТОПОРНАЯ
В ВИДЕ ДИСКАСТОПОРНАЯ
С ВНУТРЕННИМИ
ЗУБЬЯМИСТОПОРНАЯ
С ВНЕШНИМИ
ЗУБЬЯМИПРЕДОХРАНИ-
ТЕЛЬНАЯ

КОНИЧЕСКАЯ

ГАЙКИ



ШЕСТИГРАННАЯ



КВАДРАТНАЯ



СТОПОРНАЯ



КОЛПАЧКОВАЯ



БАРАШЕК



КОРОНЧАТАЯ

ШИРОКАЯ НОМЕНКЛАТУРА крепежных деталей включает множество типов болтов, гаек и шайб. Болты могут иметь

различную форму головок и шлицов. Некоторые виды шайб предназначены для предотвращения свинчивания гайки.

накрученная на стержень и припаянная к нему. Очевидно, это изобретение было утрачено с исчезновением Римской империи, поскольку первое упоминание о винтах встречается в книге, относящейся лишь к началу XV в.

В том же столетии винты наряду с другими крепежными деталями были использованы И. Гутенбергом в сконструированном им печатном станке. Вскоре их стали применять часовых дел мастера и изготовители воинских доспехов. (У меня хранится часть испанского панциря для лошади, датированного 1614 г. В ней имеется ряд отверстий под винты для прикрепления рыцарских лент.) В записных книжках Леонардо да Винчи, относящихся к концу XV — началу XVI в., есть наброски проектов нескольких винторезных станков. Однако первый такой станок, получивший практическое применение, был изобретен в 1568 г. французским математиком Ж. Бессоном. К концу XVII в. винты стали широко использоваться в огнестрельном оружии.

К ТОМУ времени, когда болты без резьбы получили широкое распространение, а идея резьбы была уже известна, гайке было суждено только появиться, равно как и идее нанесения резьбы на болт и соединения его с гайкой. Первые документированные сведения о гайках с резьбой относятся к концу XVI — началу XVII в. Как и винты, первые гайки также изготавливались вручную и были плохо обработанными.

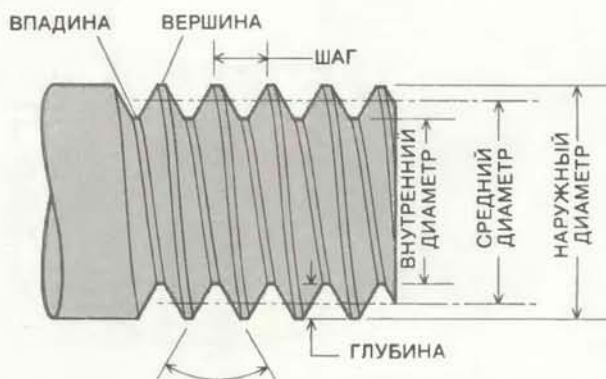
Гайки стали соединять с винтами, по-видимому, в начале XVII в. Винты тогда были прямые с торцом без фаски и больше походили на современные болты, чем на конические шурупы. В одной из книг, изданных в Англии в 1611 г., уже используется словосочетание «гайка для винта». Винтом стали называть болт, имеющий резьбу. Подобрать болт и соответствующую ему гайку было делом нелегким, когда же удавалось найти такую пару, винт и гайку держали соединенными до их использования в каком-либо механизме или сооружении.

Несомненно, что гайки и болты как крепежные детали получили широкое распространение с началом промышленной революции. Если и можно говорить о начале такой эпохи, то его следует отнести к 1765 г., когда Джеймс Уатт изобрел паровую машину. Производители первых машин и деталей для них поняли, что резьбовое соединение может принципиально улучшить конструкцию сложных механизмов; значительно облегчить сборку, а также повысить их надежность. Многие известные изобретения того времени основаны на применении резьбовых крепежных элементов. Среди них изобретенная Дж. Харгривсом прядильная машина периодического прядения и хлопкоочистительная машина Э. Уитни.

В 1801 г. Уитни подсказал еще одну важную идею — о взаимозаменяемости частей в машинах. Эту идею он продемонстрировал в том же году в Вашингтоне. Перед глазами присутствующих, среди которых находились президент Адамс и вице-президент Джефферсон, Уитни разложил на столе несколько одинаковых кучек деталей мушкетов; в каждой из них находилось по 10 деталей. Взяв наугад по одной детали из каждой кучки, Уитни быстро собрал готовый мушкет. Идея была на-

столько простой и плодотворной, что вскоре была заимствована многими изобретателями, в частности С. Кольтом, изобретателем капсюльного револьвера, Дж. Насмитом — парового молота, Ц. Мак-Кормиком — жатки, Дж. Диром — стального плуга, Э. Терри — часов массового производства и Э. Хоу — швейной машины.

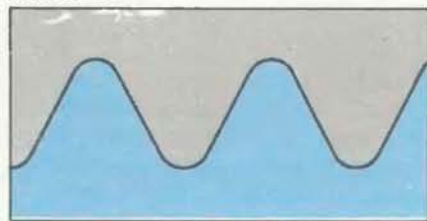
П РОБЛЕМА, которую не удалось решить вплоть до начала XIX столетия, — это отсутствие единообра-



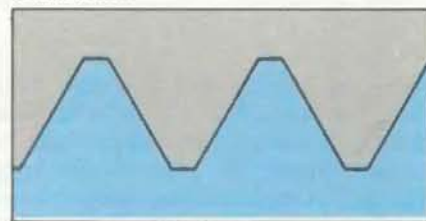
СТАНДАРТНЫЕ РЕЗЬБЫ:

УГОЛ ПРОФИЛЯ РЕЗЬБЫ

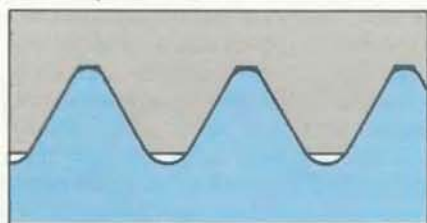
ВИТВОРТА



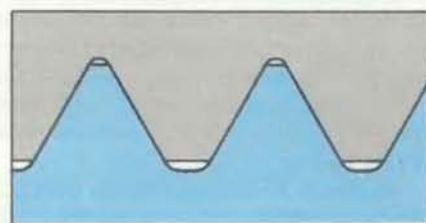
СЕЛЛЕРЕСА



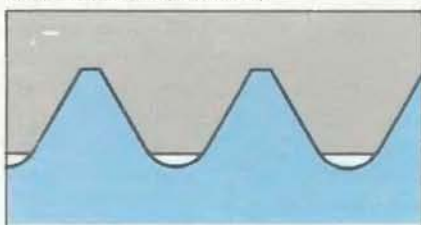
УНИФИЦИРОВАННАЯ



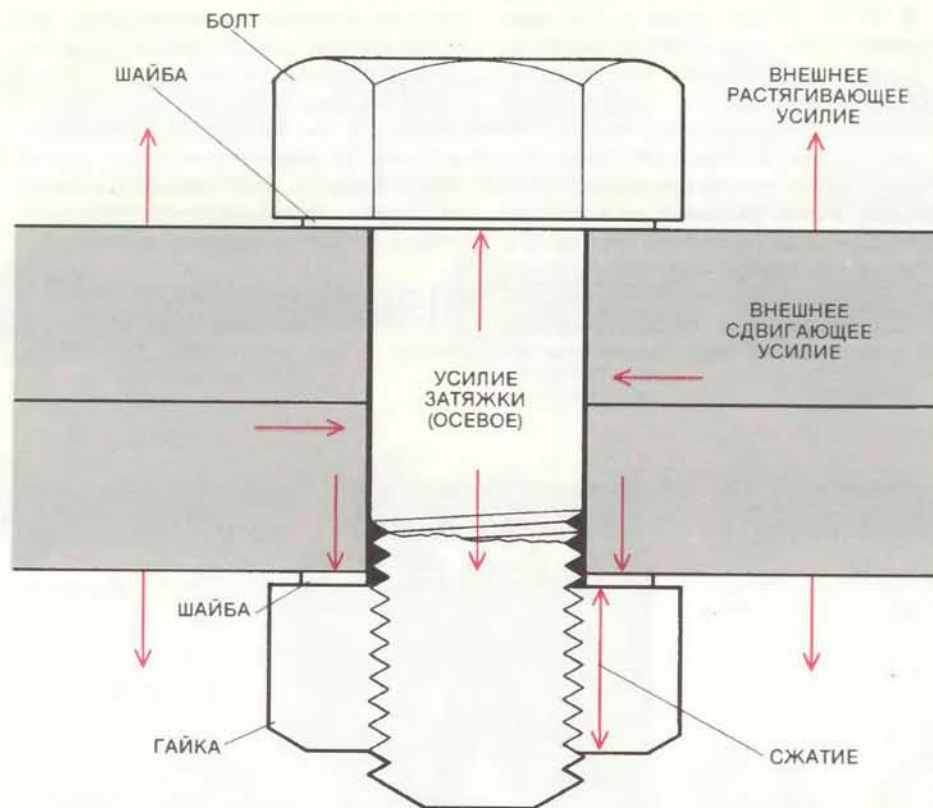
МЕТРИЧЕСКАЯ ISO



МЕТРИЧЕСКАЯ (ANSI/ISO)



РЕЗЬБЫ НА БОЛТАХ стандартизованы. В Великобритании принят стандарт на резьбу, предложенный в 1841 г. Дж. Витвортом, а в США — стандарт, предложенный в 1864 г. У. Селлерсом. Унифицированная система резьб, которая включает элементы обоих указанных стандартов, была введена в 1948 г. и получила распространение в США, Канаде и Великобритании. Стандартная система метрической резьбы, разработанная Международной организацией по стандартизации (ISO), была принята в 1964 г. Она получила распространение в странах, использующих метрическую систему мер. Оптимальная метрическая система крепежных изделий, предложенная Институтом промышленных крепежных изделий в 1971 г. как усовершенствованный вариант стандарта ISO, легла в основу системы Американского национального института стандартов (ANSI/ISO) и стала международным стандартом метрической резьбы.



НАПРЯЖЕНИЯ, возникающие в болтовом соединении, условно показаны для случая, когда болт с навинченной на него гайкой стягивает две детали. В идеальном случае болт должен быть затянут до такого состояния, при котором возникающие в нем напряжения максимальны, но не вызывают его остаточную деформацию.

зия резьб, нарезаемых на болтах и гайках. До конца XVIII в. резьбы больших размеров, как правило, наносились горячей ковкой: по горячей заготовке болта кузнецы ударяли специальным ковочным штампом или другим формообразующим инструментом. Нарезка более мелких резьб производилась на примитивных токарных станках; режущий инструмент при этом приходилось удерживать вручную, и поэтому получить резьбу постоянного профиля не удавалось.

К 1800 г. токарный станок был усовершенствован: у него появились подвижный суппорт и зубчатая передача, так что нарезка резьбы с помощью холодного винта (осуществляющего подачу режущего инструмента), производилась с достаточно высокой точностью. Однако пока еще не было такой системы, которая бы задавала размер резьбы пропорционально диаметру заготовки. Насмит указывал: «Все болты и соответствующие им гайки нужно было специально маркировать, чтобы легко определялась их принадлежность друг другу. Всякое смешивание гаек и болтов... вызывало бесконечные хлопоты и дополнительные расходы, эффективность производства при этом падала, в работе появлялась путаница, особенно при ремонте сложных машин, когда их приходилось разбирать на части».

Ситуация изменилась в 1800 г., когда

английский изобретатель Г. Модсли построил первый токарно-винторезный станок, на котором можно было изготавливать винты любого диаметра с любым шагом резьбы. (Шаг резьбы — это расстояние вдоль оси винта между вершинами двух соседних витков. Наружный диаметр резьбы равен диаметру цилиндра, описанного относительно вершин, а внутренний — диаметру цилиндра, описанного относительно впадин резьбы.) Его современник Ч. Хольцзапфель в своем пятитомном труде «Токарная и слесарная обработка» писал, что между 1800 и 1810 гг. Модсли «совершил почти полный поворот от старого, несовершенного и полного неожиданных случайностей способа производства винтов... к современному, научно обоснованному и отличающемуся высокой точностью способу, на который в своих разработках опираются инженеры».

Винторезный станок в течение многих лет оставался основным средством нанесения резьбы на крепежные изделия. Сегодня самым распространенным способом является накатка резьбы на заготовке вращающимися плашками. В отличие от винторезного станка, который при нарезке снимает стружку, накатка резьбы плашками производится только за счет изменения формы поверхности заготовки без потери материала — в этом и заключается ее принципиальная особенность.

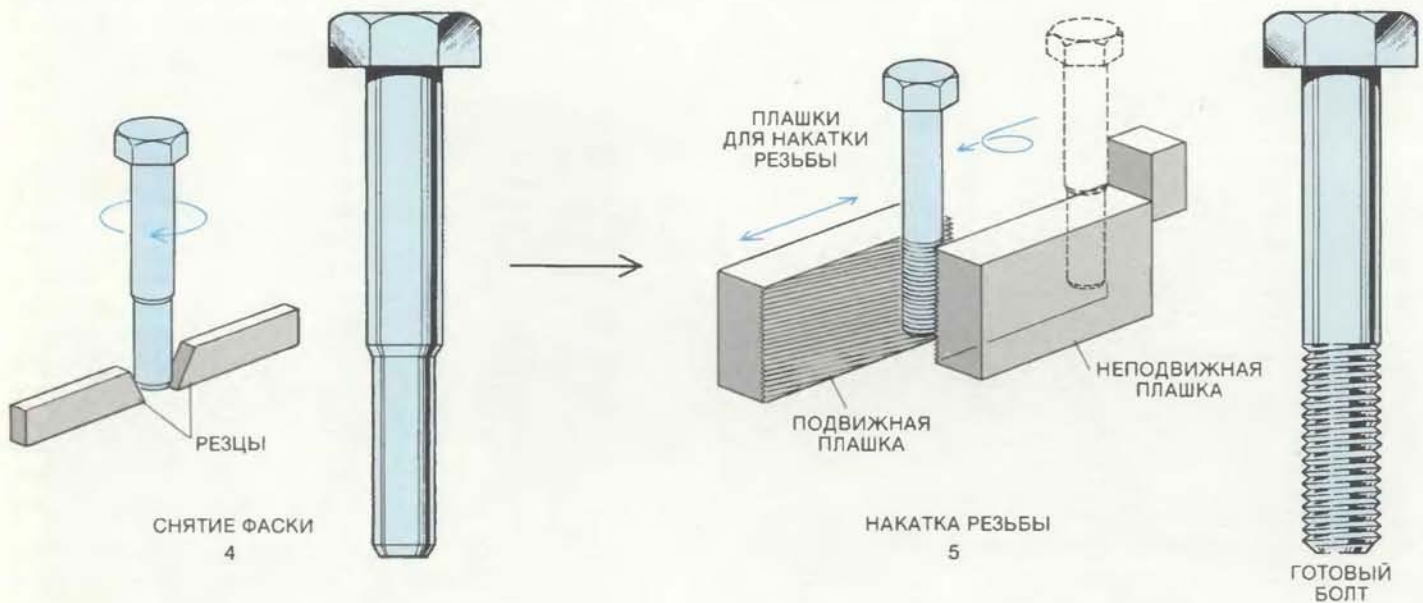
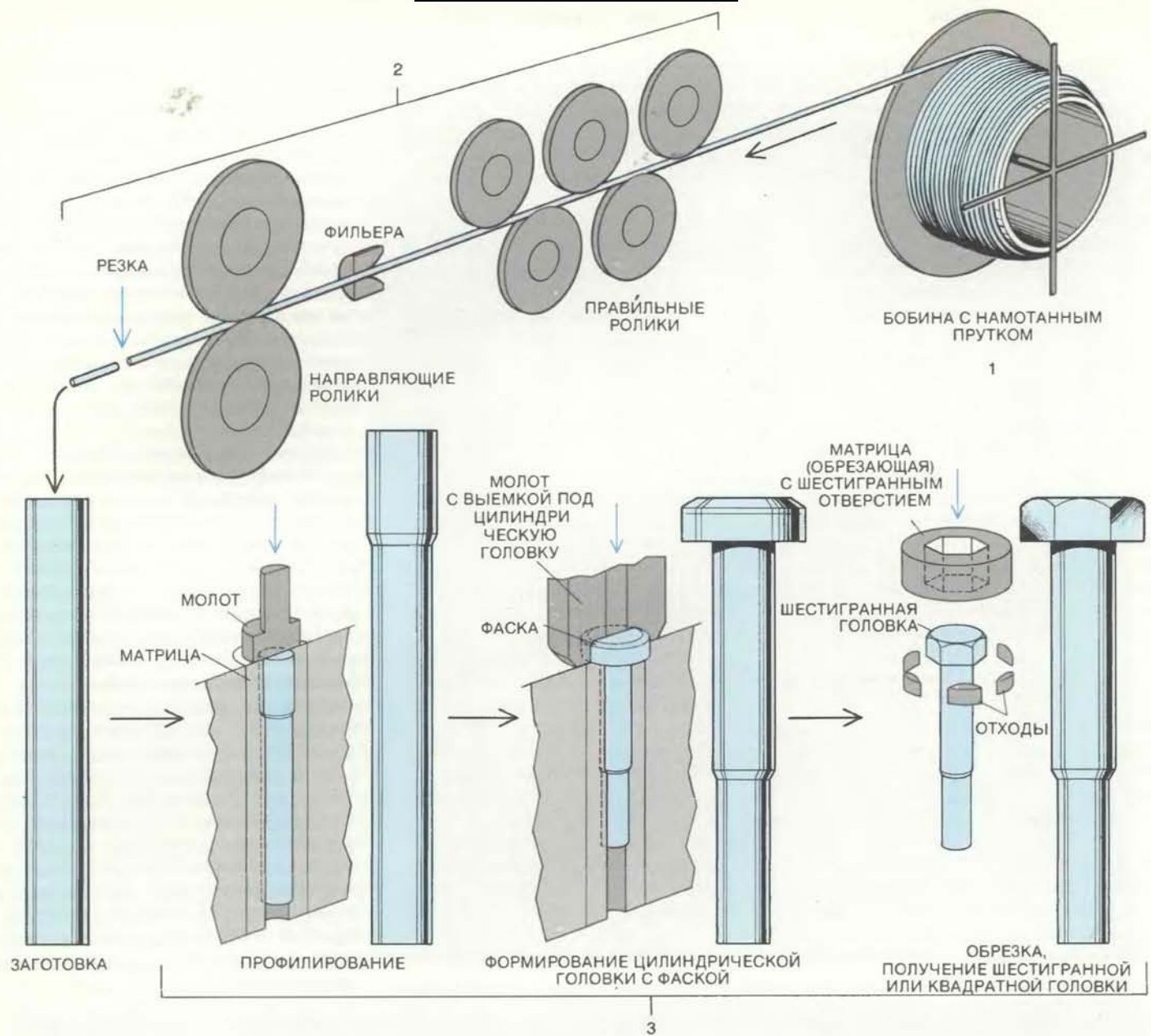
В середине XIX в. У. Уорд из Порт-Честера (шт. Нью-Йорк) создал станок для изготовления гаек и болтов горячей ковкой. При этом способе заготовка в форме прутка нагревается до температуры около 870°C и проходит через накатанные плашки для выдавливания резьбы. Позже Уорд разработал аналогичный станок для получения резьбы методом пластической деформации в холодном состоянии. Технологически процесс отличался только тем, что прутковая заготовка не нагревалась. Используемые в этом случае плашки должны иметь повышенную прочность, а удерживающий их станок должен быть достаточно мощным. По сравнению с горячей ковкой холодный способ позволяет получать более прочную резьбу и с меньшими отклонениями от заданных размеров. Холодная накатка в настоящее время является основным методом при массовом производстве гаек, болтов и винтов.

В конце XIX в. массовое производство крепежных деталей от станочной обработки прутковых заготовок в основном перешло на холодный способ непрерывного формообразования из проволоки или прутка. Проволока с катушки подается, скажем, в болторезный станок, который отрезает стержень нужной длины, пропускает его через ряд формообразующих штампов; на полученную заготовку болта затем накатывается резьба. Именно таким способом осуществляется сейчас массовое производство гаек и болтов.

ВОЗМОЖНОСТЬ унифицирования резьб еще не означала их общую унификацию, поскольку каждый производитель был заинтересован иметь собственные стандарты. Со временем появилась настоятельная потребность создания ряда государственных или международных стандартов. Первый важный шаг в этом направлении был сделан в Великобритании в 1841 г., когда Дж. Витворт представил Институту гражданских инженеров свой доклад под названием «Система унифицирования винтовых резьб».

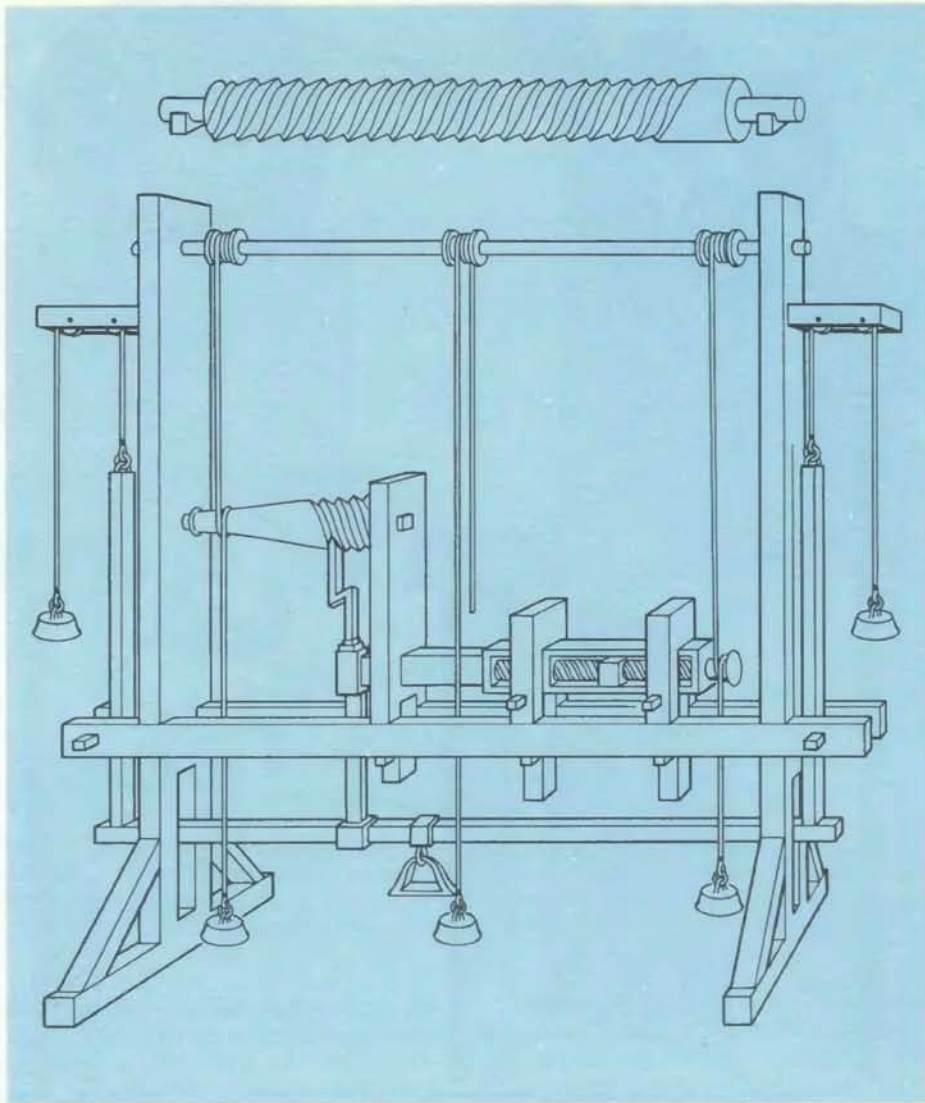
Витворт предлагал установить для болтов и винтов данного размера единообразие таких параметров резьбы, как профиль, шаг и высота профиля. Он рекомендовал, чтобы угол профиля (угол между сторонами соседних витков) был равен 55°, а число витков на один дюйм должно определяться диаметром болта или винта. Вершины витков резьбы и основания впадин должны быть закруглены на $\frac{1}{8}$ высоты исходного профиля. К 1881 г. система Витворта была принята в качестве британского стандарта.

В США стандартизация начала проводиться в 1864 г. У. Селлерс, производитель металлорежущих инструментов в Филадельфии, убедил Институт

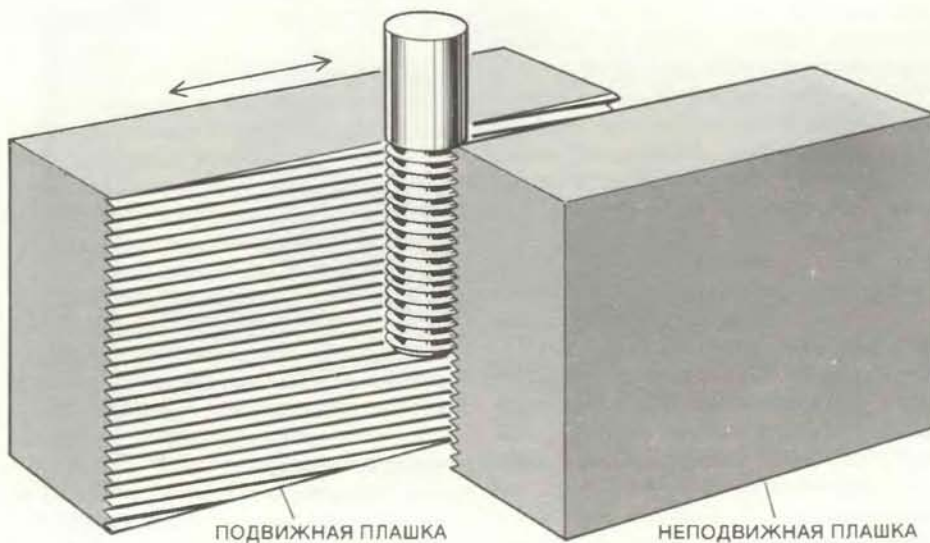


ПРОЦЕСС ИЗГОТОВЛЕНИЯ БОЛТА холодной штамповкой начинается с подачи стального прутка с бобины (1). Сначала пруток пропускается через правильную машину и фильеру, а затем режется на части (2). Полученные заготовки подаются в штамповочную машину, где производится их пред-

варительная формовка, штамповка круглой головки, которой придается четырех- или шестиугольная форма (3). Затем на торцевой части заготовки болта делается фаска (4), и наконец, с помощью двух плашек нарезается резьба (5).



РЕЗЬБОНАРЕЗНОЙ СТАНОК, изобретенный Ж. Бессоном в 1568 г. Станок приводился в действие ножной педалью. На обрабатываемую заготовку (в данном случае для конического винта) нарезалась резьба с помощью резца, перемещающегося ходовым винтом. Координация поступательного движения резца и вращения заготовки достигались системой шкивов.



СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ получения резьбы основаны на пластическом деформировании поверхности заготовки. Типичным является метод, при котором заготовка зажимается и прокатывается между двумя плашками, одна из которых подвижная.

Франклина учредить комиссию, ответственную за разработку государственных стандартов. У Селлера было несколько поправок к системе Витворта. Он считал, что угол профиля 55° трудно измерить, и поэтому предлагал заменить его на 60° . К тому же он полагал, что при таком угле резьба будет прочнее. Селлерс также предложил резьбу с уплощенными вершинами витков и основаниями впадин, поскольку, по его мнению, предусматриваемое в стандарте Витворта закругление этих участков профиля приводило к неопределенности соответствия между болтом и гайкой и снижало прочность резьбы.

Институт Франклина принял систему Селлера и рекомендовал ее в качестве государственного стандарта, гласящего: «Профиль винтовых резьб должен иметь прямые края, образующие угол 60° , поверхность вершин и впадин должна быть плоской и составлять $\frac{1}{8}$ шага». К концу XIX столетия система Селлера уже обрела статус стандарта не только в США, но и во многих европейских странах.

Несовместимость систем Витворта и Селлера стала причиной многих технических осложнений в годы первой и второй мировых войн, когда американская и английская армии сталкивались с необходимостью иметь взаимозаменяемые части вооружения. Начиная с 1918 и вплоть до 1948 г. обе страны делали попытки привести две системы в соответствие. На конференции, состоявшейся в 1948 г. в Вашингтоне, США, Канада и Великобритания приняли Унифицированную систему резьбы, которая включала элементы как системы Витворта, так и системы Селлера. Существенную роль в стандартизации дюймовой винтовой резьбы сыграл Институт промышленных крепежных изделий, созданный ведущими североамериканскими фирмами, специализирующимися на производстве крепежных деталей.

В том же году Международная организация по стандартизации ИСО (ISO) приступила к разработке системы стандартизации винтовых резьб, единой для многих стран мира. Когда в 1964 г. эта работа была завершена, международная конференция в Нью-Дели приняла две системы: систему дюймовой резьбы ISO (такую же, как и вышеуказанная Унифицированная система) и систему метрической резьбы ISO, которая должна была заменить множество различных национальных систем.

На том основании, что крепежные детали, изготовленные в соответствии с новой метрической системой, оказались хуже по сравнению с теми, которые изготавливались по дюймовой системе ISO, Институт промышленных крепежных изделий рекомендовал в 1970 г. разработать более совершенную метриче-

скую систему. В 1971 г. группа специалистов этого института представила проект Оптимальной метрической системы крепежных деталей. Среди прочих предложений проект предусматривал такой профиль резьбы, который бы стал стандартным для крепежных изделий, применяемых в авиационно-космической технике, а также для изделий из металла с повышенной усталостной прочностью. Это предложение было учтено в той системе, которая сейчас является международным метрическим стандартом: системе ANSI/ISO (ANSI — сокращенное название Американского национального института стандартов).

Стандартизацией крепежных изделий в США занимаются и многие другие организации. Их деятельность связана с введением в существующие стандарты дополнительных параметров с учетом тех специфических требований, которые диктуются условиями применения крепежных деталей в отдельных отраслях промышленности. К числу таких организаций относятся Американское общество по испытанию материалов, Американский национальный институт стандартов, Общество автомобильных инженеров и другие. Этими организациями разработано в общей сложности около 8 тыс. стандартов на крепежные изделия, они охватывают такие параметры, как материал, геометрия профиля резьбы и крепежных деталей, размеры, допуски и механические свойства. Если учесть крепежные детали специального назначения или детали с ограниченным правом

производства, с различными видами обработки поверхности и покрытиями, а также все комбинации диаметра и длины, то общее число разновидностей этих изделий составит более двух миллионов.

ПРИ ТАКОМ огромном выборе промышленным фирмам следует избегать количественного роста крепежных изделий. Если не быть предусмотрительным на стадии проектирования какого-либо оборудования, то увеличение числа крепежных деталей различных типов и размеров в проекте впоследствии может обернуться большими материальными потерями.

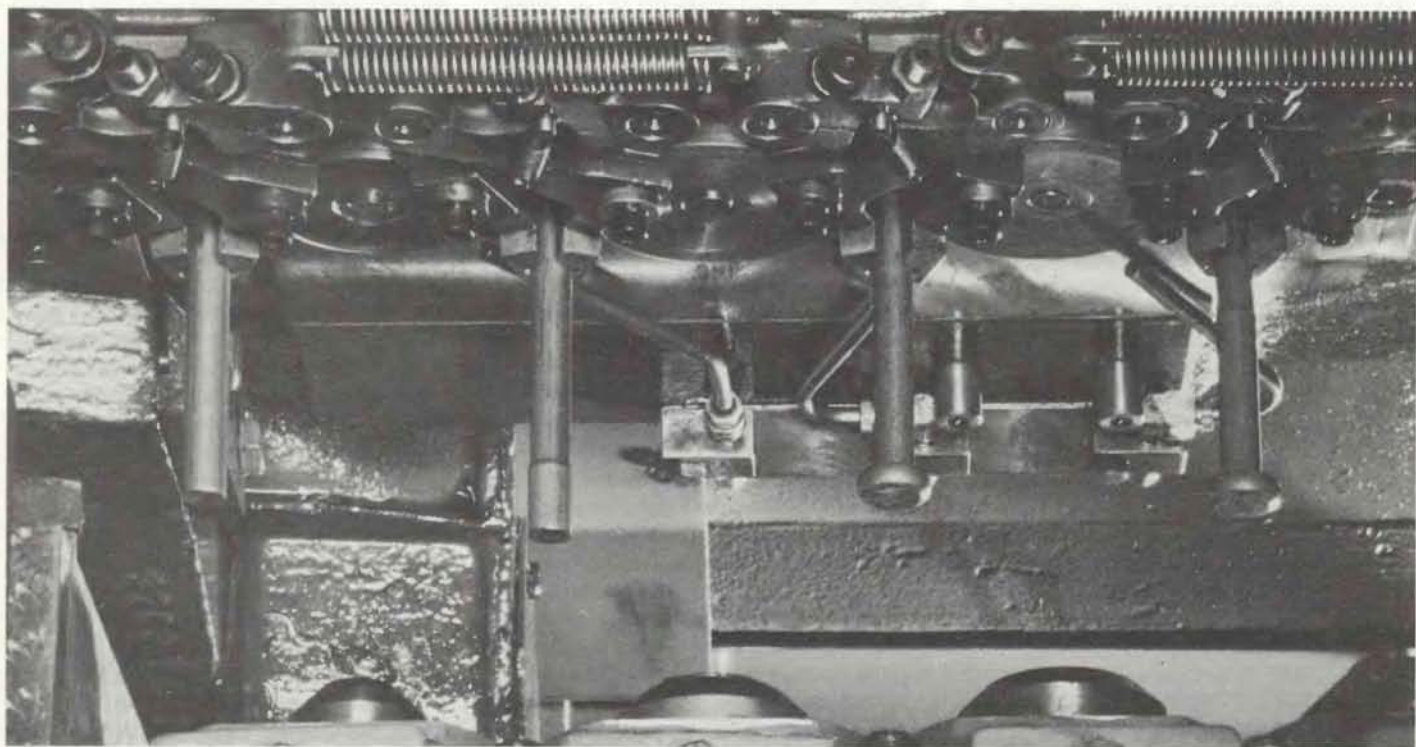
Предположим, что разрабатывается конструкция какой-либо машины, на определенной стадии сборки которой потребуется установка самонарезающего винта. Допустим также, что винт этот должен иметь вполне определенные диаметр и длину. В данном случае конструктор имеет следующий выбор самонарезающих винтов в соответствии с действующими стандартами: девять форм профилей резьбы, шесть типов головок, три типа прорезей на головке и четыре разновидности обработки поверхности. В результате конструктору придется выбирать один винт из 648 возможных. Из приведенного примера видно, с чем может столкнуться компания с большим штатом конструкторов при увеличении числа крепежных деталей, каждая из которых нумеруется по принадлежности и поставляется в партии.

Та же проблема характерна и для бо-

лее простых случаев. Пусть требуется подобрать соответствующие друг другу болт, гайку и шайбу. Обращаясь к стандартным изделиям, инженер обнаруживает, что болт необходимых диаметра и длины он может выбрать из трех с разной формой головки, из четырех, рассчитанных на различные нагрузки, из двух с неодинаковым шагом резьбы и из трех, отличающихся способом обработки поверхности; нужную ему гайку он может выбрать по меньшей мере из двух типов, и из двух типов — шайбу. В целом число возможных комбинаций равно 288.

Подсчитано, что стоимость хранения запасов деталей одного наименования обходится более чем в 2 тыс. долл. в год. Каждое из этих наименований необходимо записать в банк данных вычислительной машины, откуда в нужный момент можно извлечь требуемую информацию; необходимо также поддерживать определенные условия, при которых имеющиеся в наличии детали данного типа сохраняли бы свою пригодность; для хранения запасов требуется специальное помещение и, кроме того, необходимо располагать техническими и людскими средствами для доставки нужного оборудования со склада. Все это относится к каждой гайке, болту, шайбе и другим крепежным элементам, используемым при сборке машин и узлов.

Многие фирмы склонны уделять значительно меньше внимания крепежным деталям, чем любым другим, из которых собирается тот или иной узел. Обычно гайки и болты представляют



МАШИНА, изготовляющая заготовки для болтов. Создана фирмой National Machinery. Внизу видны пуансоны, после-

довательно придающие заготовкам нужную форму. За одну минуту машина изготовляет 100 заготовок.

как стандартизованные недорогие детали, которые всегда под руками, и при необходимости рабочему достаточно дотянуться до ящика, взять нужное и установить. В результате (за несколькими исключениями, в том числе в автомобильной промышленности и в производстве сельскохозяйственной техники) немало средств расходуется на увеличение запасов крепежных деталей, а также на необоснованное использование болтов и гаек с повышенными

прочностными характеристиками, из улучшенных материалов, с особым видом резьбы и специальным покрытием. На основании собственного опыта могу сказать, что любая промышленная фирма, расходующая 1 млн. долл. в год на крепежные детали, может сэкономить 15% от этой суммы только за счет более рационального использования этих деталей.

С необходимостью решения указанной проблемы связано появление в последние годы нового подхода в инженерной практике. Еще на стадии разработки конструкции машины инженер выбирает необходимые крепежные детали из большого числа имеющихся в наличии, а также наиболее подходящий способ их установки. В результате такого подхода достигается существенное повышение надежности и конструктивной безопасности разрабатываемых машин.

ПОМИМО того что многие компании не уделяют должного внимания проблеме крепежных элементов, можно отметить и другое немаловажное обстоятельство, а именно — недостаточность знаний о правильных способах затяжки болтовых соединений. Чтобы затяжка была наиболее надежной, завинчивание гаек должно производиться до момента, непосредственно предшествующего появлению в металле остаточной деформации. При этом достигается наиболее высокое давление в месте затяжки.

Ввиду того что затяжка производится вручную, крупные болты и гайки (диаметром $\frac{1}{2}$ дюйма и больше), как правило, недотягиваются, и наоборот, более мелкие крепежные детали обычно затягиваются слишком сильно. Для обеспечения нормальной затяжки болтов и гаек используются специальные гаечные ключи и приспособления. В тех же случаях, когда к соединению крепежных деталей предъявляются особо жесткие требования (с точки зрения обеспечения высокой надежности и безопасности), их затяжка осуществляется с использованием электронных устройств автоматического управления, которые получают все более широкое практическое применение. Используемый в этих системах микропроцессор управляет операцией затяжки (в настоящее время ее может выполнять и робот). В основе принципа управления лежит измерение и преобразование величины момента и угла в электрические сигналы. По достижению определенной величины сигналов завершающее устройство с электрическим приводом выключается.

Контролирование степени затяжки часто позволяет применить более мелкие или относящиеся к более низкому классификационному классу крепежные детали, что может обеспечить экономии в размере 10% на каждую де-

таль. Для предприятия, которое производит сборку, скажем, 1 млн. машин в год, такая замена крепежных деталей может снизить издержки на 100 тыс. долл. в год. Кроме того, если учесть, что после установки более надежного болтового соединения снизится возврат некачественной продукции для ремонта, то экономия будет еще больше.

Многие крепежные детали работают в агрессивных средах, вызывающих коррозию, или в условиях высоких температур, а иногда при одновременном воздействии обоих факторов. Стандартами предусматривается покрытие деталей, рассчитанных на работу в указанных условиях, специальными составами из фосфата и жидкой смазки или из черного оксида. Для обеспечения повышенной устойчивости к коррозии на поверхность крепежных деталей гальваническим способом наносят цинк или кадмий. Но все эти методы не лишены недостатков. Покрытие цинком и кадмием, например, может повысить хрупкость металла.

В последнее время разработана технология покрытия крепежных изделий алюминием, которая успешно применяется в авиационно-космической промышленности для деталей, рассчитанных на работу в экстремальных условиях, например, в газовых турбинах. Алюминий рассеивается на фосфате или хромате. Алюминиевые покрытия повышают способность крепежных изделий выдерживать высокие температуры и противостоять воздействию многих жидких химических и органических веществ.

Некоторые успехи достигнуты и в технологии покрытия инструментов, применяемых при холодных способах производства крепежных изделий. Эти инструменты, хотя и изготавливаются из высокопрочных и твердых материалов, все же быстро изнашиваются. Самые большие затраты в производстве крепежных изделий связаны с заменой используемых для их производства инструментов. Меры, обеспечивающие продление срока службы инструментов для изготовления крепежных изделий, включают различные виды обработки их поверхностей, такие, как цементация, азотирование и гальванопокрытие. Используется также и установка вкладышей из карбида титана или нитрида титана в места, подверженные наибольшему износу. В настоящее время разработана технология нанесения тонкого слоя карбида титана или нитрида титана химическим путем или методом осаждения. Покрытие не только придает инструментам исключительно высокую твердость, но и выполняют роль смазки, которая снижает трение между инструментом и обрабатываемой деталью. Указанные технологические приемы в большинстве случаев повышают срок службы инструментов в три-пять раз.

Издательство МИР предлагает:

Л. Эрман, П. Парсонс

ГЕНЕТИКА ПОВЕДЕНИЯ И ЭВОЛЮЦИЯ

Перевод с английского

Содержание: Краткое изложение основ генетики с примерами из области генетических исследований поведения. Однородный контроль некоторых признаков поведения. Влияние хромосомных инверсий на эволюцию генома и признаков поведения. Вариации кариотипа у человека; синдром Дауна. Полигенный контроль поведения (геотаксис, феномен половой изоляции у дрозофилы, репродуктивное поведение гибридов попугаев-неразлучников, анализ поведения собак-гибридов). Методы оценки способа наследования, влияния условий внешней среды, взаимодействия генотипа и среды. Близнецовый анализ родословных у человека. Влияние условий среды на признаки поведения у человека. Дрозофила как удобный объект генетических исследований поведения и физиологических процессов; нейрогенетика дрозофилы. Генетика поведения у грызунов. Генетический анализ поведения бактерий, инфузорий, нематод, насекомых и других видов. Генетика поведения человека. Поведение и эволюция.

Книга предназначена для генетиков, этологов, психофизиологов, эволюционистов, для преподавателей и студентов биологических специальностей.

1984, 35 л. Цена 4 р. 70 к.



Наука вокруг нас

Маленькие кулинарные хитрости и законы большой физики

ДЖИРЛ УОЛКЕР

ВСЯ КУЛИНАРИЯ — это, по сути дела, физика (и, разумеется химия), однако большинство людей (в том числе и я) готовят всевозможные блюда, руководствуясь собственной интуицией и опытом. А все-таки, чтобы облегчить свои кулинарные труды или улучшить качество приготавливаемого блюда, было бы интересно сознательно воспользоваться тем или иным физическим законом. Недавно мне подвернулось несколько кухонных приспособлений, основанных на использовании отнюдь не тривиальных физических явлений. Среди них тепловая трубка, ускоряющая процесс запекания мяса, жидкокристаллический датчик, позволяющий следить за варкой яиц, масленка, не дающая маслу растаять даже в теплом месте, и, наконец, кастрюлька восточного происхождения, в которой пищу, даже частично жидкую, можно приготовить на пару.

Кулинарная тепловая трубка представляет собой полый стержень с запаянными концами, заостренный с одной стороны, чтобы его легче было втыкать в мясо. Внутри стержня содержится небольшое количество жидкости, которая переносит тепло в середину куска мяса, когда вы его запекаете в духовке. Поскольку перенос тепла в толщу мяса при этом значительно ускоряется, оно испечется быстрее и меньше зажарится, чем при обычном способе приготовления.

Тупой конец тепловой трубки, которой я часто пользуюсь сам, заделан в массивный металлический цилиндр. Позже я купил еще дюжину трубок, выпущенных фирмой Jegguso, — эти оказались подлиннее, а цилиндры на концах у них были не такими массивными. Тепловые трубки, специально предназначенные для кулинарных целей, выпускаются также корпорацией Thermo Pin. Они имеют своеобразное оперение. Цилиндры и оперение предназначены для того, чтобы более эффективно поглощать тепло в духовке и содействовать испарению жидкости, содержащейся внутри трубки. Пар распространяется вдоль трубки и частично конденсируется в той ее части, которая погружена в относительно холодную середину куска мяса. Выделяющееся при этом тепло передается стенке тепловой трубки, которая прогревает мясо внутри.

Воткнутая в мясо трубка должна быть направлена острием вверх — тогда конденсирующаяся жидкость будет стекать обратно, к другому концу. В нижней части тепловой трубки жидкость испаряется, и процесс повторяется. Обычно трубка бывает выстлана изнутри каким-либо пористым материалом; наличие капилляров содействует оттоку конденсата. По мере того как верхняя часть трубки постепенно нагревается, скорость конденсации падает, жидкость циркулирует все медленнее, и наконец, когда температура внутри мяса приближается к температуре в духовке, циркуляция в тепловой трубке прекращается.

Подобные трубки можно заполнять водой, метанолом или какой-нибудь другой жидкостью с большой теплотой испарения. Пусть, к примеру, трубка содержит один грамм воды при обычной комнатной температуре (скажем, 19° С). Для того чтобы нагреть ее до температуры кипения 100°С, потребуется затратить около 340 Дж энергии, не так уж и много по сравнению с тем, что необходимо для испарения того же количества воды (2256 Дж).

Столь значительная энергия расходуется на разделение молекул жидкости при превращении ее в пар.

Энергию, которую необходимо затратить для превращения воды в пар, часто называют скрытой теплотой парообразования. Именно эта энергия и передается с помощью тепловой трубки внутрь куска мяса, ускоряя его приготовление. Каждый раз, когда вода конденсируется у холодного конца трубки, повторное образование жидкости сопровождается высвобождением скрытой теплоты. Выделяемое тепло через стенки тепловой трубки передается мясу. Если каждую секунду в трубке конденсируется 1 г воды, то это значит, что за то же время дополнительный приток тепловой энергии к мясу составит 2256 Дж.

Для сравнения я подсчитал, какое количество тепла передавалось бы мясу, если бы мы пользовались монолитным стержнем из алюминиевого сплава. Получилось, что сплошной стержень такого же диаметра, что и тепловая трубка, в подобных условиях соощал бы мясу всего лишь 35 Дж/с — несравненно меньше, чем тепловая трубка.

Чтобы оценить эффективность теп-

ловых трубок, я поставил на кухне два опыта. Как-то вечером я готовил небольшой (весом 2,22 фунта) кусок вырезки, пользуясь своей старой тепловой трубкой с массивным цилиндром на конце. Я воткнул трубку в кусок мяса, так что сверху высовывался ее заостренный конец.

В верхней части ростбифа я сделал спицей дырку и вставил в нее термопару на глубину 3,5 см. Температура измерялась примерно в 2 см от тепловой трубки, а сама трубка в этом месте отстояла от поверхности ростбифа на 2,2 см и была одинаково удалена от его краев. За изменениями температуры я следил по электроизмерительному прибору фирмы Cole Parmer, к которому была присоединена термопара, представлявшая собой незакрепленный зонд типа К.

Мясо было уложено на среднюю полку электродуховки, предварительно нагретой до 204°С. За первые 25 мин температура, измеряемая термодатчиком, поднялась на 25° С, а через 44,5 мин от начала готовки температура в интересующей нас точке увеличилась в целом на 58° С.

В этот самый момент я вынул ростбиф из духовки и порезал его на несколько кусков. О степени готовности можно было судить по цвету мяса на срезе. В среднем куске мясо приобрело коричневый оттенок на узенькой полоске сверху шириной всего в несколько миллиметров, снизу ростбиф пропекся сантиметра на два, а вокруг отверстия, оставшегося от тепловой трубки, можно было заметить коричневую область радиусом примерно 1 см. Остальная часть среза была красноватого цвета, характерного для непрожаренного мяса. (Попутно замечу, что ценный продукт, затраченный на этот эксперимент, не пропал даром. Разумеется, полученное блюдо не годилось для подачи к столу, но было использовано для приготовления других весьма изысканных деликатесов, описание которых я не привожу, так как это увело бы нас далеко от темы статьи.)

На срезе у хвостовой части тепловой трубки было видно, что вокруг оставшегося от нее отверстия мясо пропеклось хорошо. У противоположного (заостренного) конца тепловой трубки мясо пропеклось хуже: оно не имело такого выраженного коричневого цвета. Из этого следует, что тепло от трубки интенсивнее передается у ее нижнего конца, чем у верхнего. По-видимому, жидкость, конденсирующаяся в нижних частях трубки, успевает быстрее вернуться в зону испарения и, следовательно, циркулирует более активно.

В следующий вечер я запекал почти такой же кусок мяса весом 2,28 фунта, но на этот раз уже без тепловой трубки. Измерительную термопару я поме-

стил примерно в то же место ростбифа, а во всех кулинарных приемах постарался как можно точнее повторить проделанное накануне. Теперь за первые 25 мин готовки показания термодатчика изменились только на 12°C.

Для того чтобы температура внутри мяса поднялась на 58°C, потребовалось уже 1 ч 9 мин, т.е. мясо готовилось в полтора раза дольше, чем при использовании тепловой трубки. (На этот раз ростбиф оказался съедобен.

Если читатель сомневается, в самом ли деле тепловые трубки способствуют равномерному пропеканию мяса, я должен сказать, что да, способствуют. Любители настоящего говяжьего ростбифа, возможно, и не оценят по достоинству тепловые трубки, зато при запекании свинины преимущества их использования опспорить трудно. Впрочем, у каждого свои вкусы.)

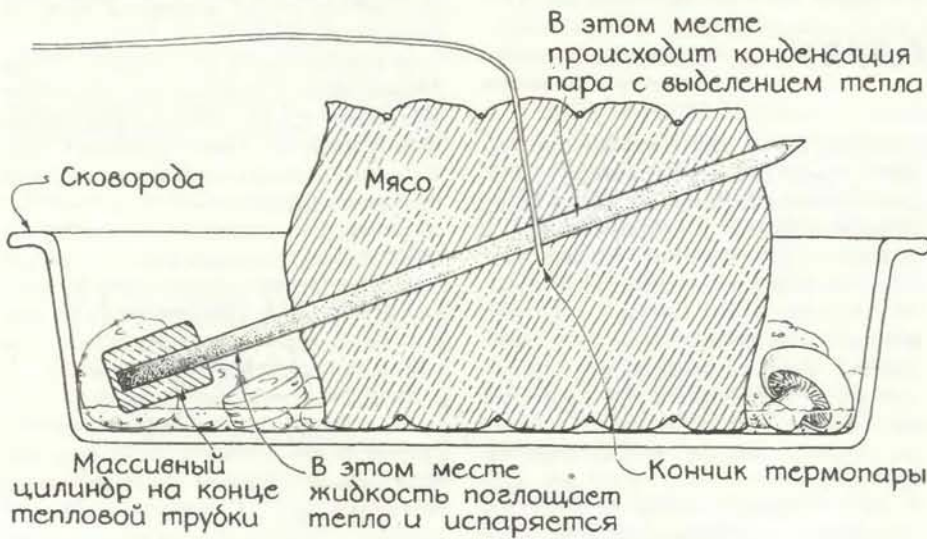
Корпорация Thermo Pin выпускает также и устройства, помогающие печь картофель. Купленная мной конструкция представляла собой шесть вертикально расположенных тепловых трубок длиной около 9 см. Картофелины накалывают на эти трубки, и все устройство помещают в духовку. Поскольку картофель обладает малой теплопроводностью, я и раньше зачастую протыкал картофелины спицами, полагая, что поскольку металлические спицы обладают хорошей теплопроводностью, они должны ускорять кулинарный процесс. Естественно, мне думалось, что тепловые трубки будут еще более эффективны.

Для того чтобы проверить свои гипотезы, я поставил эксперимент с пятью картофелинами примерно одного размера — 11 × 6 × 5 см. Все клубни я разложил близко друг к другу на средней полке духовки, предварительно разогретой до 200°C. Бока у всех картофелин были проколоты спицами, чтобы можно было ввести термодатчик на глубину 2 см. Одна картофелина лежала горизонтально, одна вертикально, одна была проколота алюминиевыми спицами, предназначенными для запекания картофеля, и еще одна была насажена на вертикальную тепловую трубку. Пятую картофелину я проткнул своей старой тепловой трубкой и положил на решетку горизонтально. (Поскольку трубка оказалась слишком толстой, картофелина с одной стороны слегка треснула.)

Спустя 10 мин я снял показания температуры внутри каждой картофелины. Та, что была проколота большой тепловой трубкой, нагрелась на 28°C, клубень, лежавший горизонтально, — на 23, картофелина, насаженная на вертикальную трубку, — на 19, а две остальные — на 17°C. Я продолжал «гонки», пока температура клубней не приблизилась к 100°C. Через 20 мин картофелина с большой тепловой трубкой все еще оставалась самой горячей; остальные же буквально «висели у нее на хвосте». Самой холодной оставалась картофелина, поставленная вертикально.

Выиграла картофелина с большой тепловой трубкой, затратив на эту температурную дистанцию около 55 мин. Остальные четыре дошли до финиша за 74 мин.

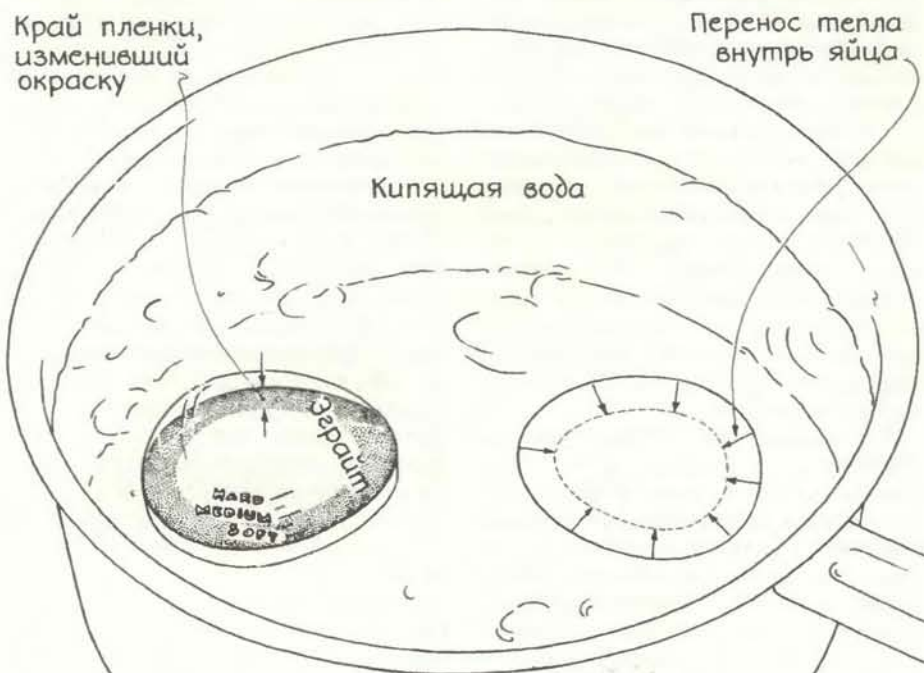
Как выяснилось, протыкание клубня спицами не дает никаких преимуществ:



Тепловая трубка, ускоряющая приготовление мяса



Опыты с запеканием картофеля

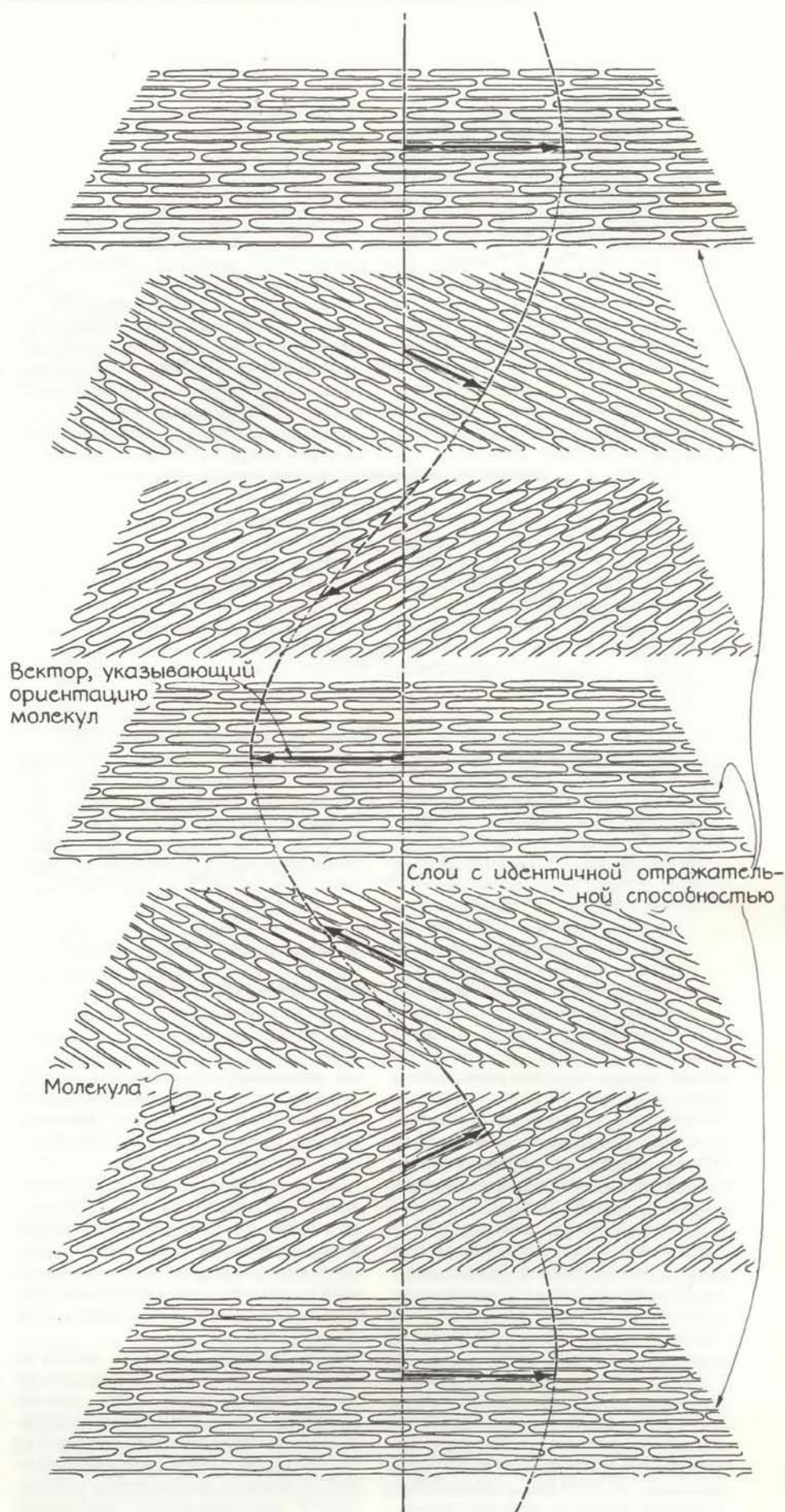


Эгграйт — таймер для варки яиц

хотя металл и в самом деле весьма теплопроводен, количество тепла, попадающего таким образом в клубень, оказалось незначительным. Картофелина с тепловой трубкой готовится быстрее, однако при вертикальном расположении на трубке она все равно оказывается в проигрыше. Будучи обращенной к расположенным в днище духовки нагревательным спиралью своим наименьшим сечением, картофелина воспримет меньшее количество прямого инфракрасного излучения. В этом случае даже энергия, подводимая тепловой трубкой, не компенсирует дефицита в тепле. Лучше уж просто раскладывать картофель плашмя над нагревательными элементами. Мои заключения имеют предположительный характер, и, если вам не жалко пожертвовать для науки несколько картофелин, попробуйте сами провести этот эксперимент.

До самого недавнего времени я определял готовность яиц при варке просто наугад. Вынимая яйца из кастрюльки, я никогда не был уверен, так ли они сварились, как мне надо. Новое устройство под названием «эграйт», предлагаемое компанией Wahl, блестяще решает эту проблему. Этот остроумный таймер для варки яиц почти целиком сделан из прозрачной пластмассы. В середине устройства можно увидеть горизонтальную тонкую пленку красного цвета с делениями: «всмятку», «в мешочек», «вкрутую».

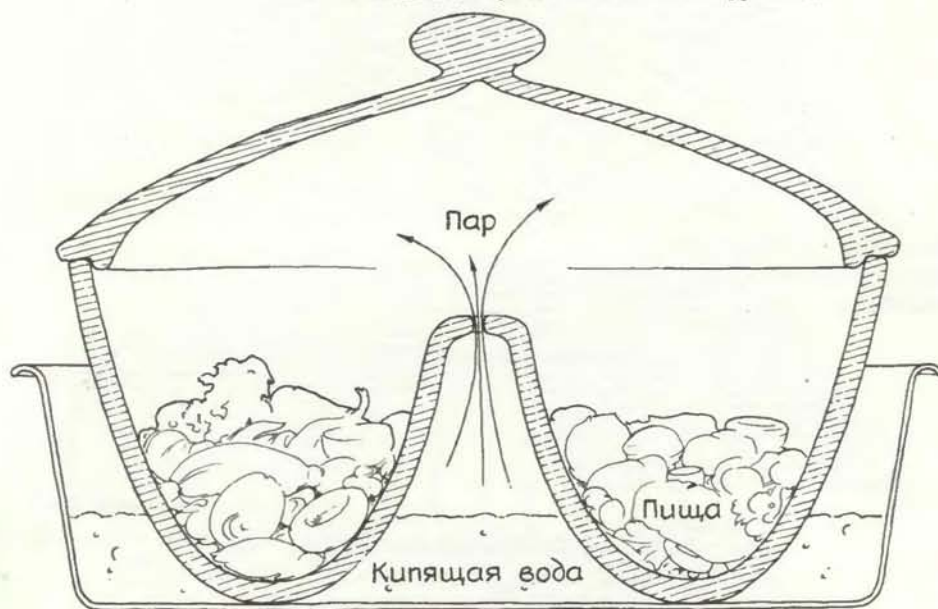
Эграйт кладется в воду вместе с яйцами. По мере того как вода начинает нагреваться, светло-красная пленка внутри пластмассовой капсулы постепенно начинает темнеть. Сначала изменение цвета становится заметным на самом краю красной полоски. Чем больше тепла проникает сквозь пластиковую оболочку, тем большая часть пленки приобретает темно-красный оттенок. Вскоре граница изменения цвета доходит до отметки «всмятку»: это значит, что если вы хотите получить яйца всмятку, то их пора вынимать. При дальнейшем нагреве граница сдвигается к центру пленки, минуя отметки «в мешочек» и «вкрутую». Прделав несколько экспериментов, можно точнее откалибровать эту шкалу и получить на ней несколько промежуточных значений. Можно также ввести поправки для этой шкалы, учитывающие размеры взятых для варки яиц. Эграйт, не отставая от самих яиц, реагирует и на начальную температуру воды, и на количество и размеры яиц, положенных в кастрюльку, и даже на силу огня, подогревающего воду. Допустим, я уменьшаю скорость подогрева, повернув ручку и убавив пламя или добавив в кастрюльку новые яйца. Поток тепла, поступающий в яйца и внутрь оболочки эграйта, сразу уменьшается, и таймер реагирует на это бо-



Расположение молекулярных слоев в холестеринном жидком кристалле



Масленка-холодильник, изготовленная из терракоты



«Юньнаньский горшок» для приготовления пищи на пару

лее медленным продвижением цветовой границы.

Более того, эгрит способен учитывать даже изменения в атмосферном давлении. Перенесем эгрит с уровня моря на достаточно большую высоту. Поскольку давление воздуха с высотой падает, температура кипения воды в этих условиях будет ниже. Внутри яйца каждую секунду будет поступать меньшее количество тепла, а следовательно, чтобы яйцо сварилось, потребуется больше времени. То же самое будет происходить и с эгритом.

Желая поближе рассмотреть красную пленку, я расколол таймер небольшим молотком. Оказалось, что пленка состоит из двух слоев. Верхний слой представлял собой гибкую прозрачную пластинку из пластика, а нижний был сделан из пористого красного веществ-

ва, нанесенного, по-видимому, на пластиковую подложку. Зажав эту пленку щипчиками, я погрузил ее в воду и начал подогреть, следя за температурой с помощью термопары.

Когда температура около пленки достигла 68°C , светло-красный слой быстро потемнел и сохранял этот темный цвет до закипания воды. Вынув пленку из воды, я прикоснулся к ее краю. От прохладных пальцев край пленки моментально приобрел прежнюю светлую окраску.

Насколько я понимаю, пористый красный слой термочувствительной пленки представляет собой жидкий кристалл, скорее всего холестеринного типа. В таком веществе, невзирая на то что оно находится в жидком состоянии, молекулы подчиняются определенной кристаллической упорядочен-

ности. Остается предположить, что жидкий кристалл из эгрита хорошо отражает красный свет, но только при температурах ниже 68°C . При более высоких температурах это вещество начинает поглощать большую часть красного света и таким образом приобретает темно-красный оттенок.

Жидкий кристалл холестерина имеет слоистую структуру, в которой большие оси похожих на стержни молекул расположены в плоскости каждого слоя. От слоя к слою ориентация молекул постепенно меняется, так что если представить себе вектор, указывающий направление больших осей молекул в каждом слое, то конец этого вектора при движении перпендикулярно слоям будет описывать спиральную траекторию.

Такой кристалл можно изобразить в виде равноудаленных друг от друга параллельных плоскостей, отражающих свет, который падает из окружающей среды. Расстояние между плоскостями с идентичным расположением молекул (молекулы холестерина мы представляем себе в виде стержней с неотличимыми друг от друга концами) будет в точности равно длине пути, на который должно переместиться основание описанного выше вектора, чтобы его конец развернулся на 180° .

Пусть теперь на подобную конструкцию из равноудаленных плоскостей будет падать белый свет. Отраженный от одного слоя, он будет интерферировать со светом, отраженным от другого слоя. Для большинства световых волн эта интерференция должна привести к взаимному уничтожению, так что в результате мы получим полную темноту или в лучшем случае слабый свет с неясной окраской. Однако при некоторых других длинах волн интерференция может дать многократное усиление, в результате чего мы получим интенсивный свет с яркой окраской, соответствующей именно этим длинам волн.

Зачастую холестеринные жидкие кристаллы выглядят как текучая жидкость с переливчатой окраской. Цвета разных участков жидкости зависят от ориентации кристаллических плоскостей в этих участках. Нагревая образец, мы изменяем расстояние между плоскостями, а следовательно, меняется и цвет отраженных световых лучей. Если температура поднимется достаточно высоко, кристаллическая структура разрушится и жидкость утратит способность выборочно отражать свет определенной длины волны.

В эгрите, по-видимому, жидкий кристалл смешан с некоторыми другими веществами и подобно краске нанесен на гибкую пластиковую подложку. Эта смесь уже не переливается разными цветами, но при освещении белым светом отражает яркие красные лучи.

При температуре около 68°C смесь утрачивает способность избирательного отражения красного света и пленка приобретает темно-красный оттенок. При охлаждении пленки упорядоченность структуры и способность к избирательному отражению только красного света тут же восстанавливаются.

Терракотовый холодильник для сливочного масла представляет собой привезенную из Италии глиняную емкость, которая в жаркий день препятствует таянию масла. Я пользуюсь этой масленкой-холодильником в тех случаях, когда застолье происходит не в доме, а на открытом воздухе. Без такого холодильника масло очень скоро начинает растекаться, но стоит его накрыть терракотовым колпаком, и оно остается свежим и твердым до конца самого долгого праздника.

Чтобы масло не впитывалось в пористую глину, подставка масленки закрыта глазурью. Собственно холодильник, сохраняющим температуру масла, является неглазурованный терракотовый колпак. Примерно за полчаса до начала застолья я переворачиваю этот колпак, превращая его в некоторое подобие чаши, и до краев наполняю холодной водой. Ко времени обеда вода успевает впитаться в пористую керамику. Положив только что вынутый из холодильника кусок масла на глазурованную подставку, я накрываю его влажным глиняным колпаком, из которого в последний момент выплескиваю невпитавшиеся остатки воды.

Как только масленку выносят на улицу, она сразу начинает нагреваться от теплого воздуха, даже если укрыть ее от прямого солнечного света. Еще больше тепла будет просачиваться сквозь подставку снизу, если не подложить под нее какой-нибудь теплоизолятор вроде куска ткани.

Когда масленка совершенно сухая, тепловая энергия, получаемая за счет контакта с окружающим воздухом, постепенно просачивается внутрь сквозь стенки колпака. Если же колпак насыщен водой, то перенос тепла сквозь его стенки уменьшится, так как большая часть энергии будет тратиться на испарение воды. По мере того как поверхность колпака подсыхает, начинает испаряться влага из толщи его стенок. Таким образом, непрерывное испарение с поверхности масленки-холодильника сдерживает процессы теплопередачи, сохраняя прохладным хранящийся внутри кусок масла.

Чтобы проверить справедливость этих рассуждений, я провел эксперимент, в котором масленка-холодильник была поставлена перед кварцевым нагревателем, выделявшим инфракрасное излучение и некоторую долю видимого света. Перед началом экспери-

мента я увлажнил керамический колпак, наполнив его водой. Сначала его внешняя поверхность была на вид совершенно сухой. Через несколько минут в воде, наполнявшей перевернутый колпак, образовалось множество мелких воздушных пузырьков — вода начала вытеснять воздух, скрытый в порах керамики. Минут через 45 вода уже просочилась сквозь стенки и увлажнила наружную поверхность холодильника.

Выплеснув остатки воды, я установил колпак на подставку, поместив под него термопару так, что ее термочувствительный кончик находился поблизости от центра подставки в нескольких миллиметрах над ее поверхностью. С помощью этой термопары я следил в течение всего эксперимента за изменением температуры внутри масленки. Затем масленку-холодильник с встроеной термопарой я поставил в тридцати сантиметрах от кварцевого нагревателя, создающего в этом месте температуру более высокую, чем температура воздуха в жаркий солнечный день. Одна сторона масленки-холодильника была буквально погружена в поток инфракрасного излучения и видимого света, другая же ее сторона была обращена к стене прохладной полуподвальной комнаты и поэтому обогривалась значительно слабее.

Спустя некоторое время после включения нагревателя температура под колпаком стала повышаться. Сначала она росла со скоростью 1°C за пять минут. Через полчаса эта скорость снизилась до 1°C за восемь минут. К этому времени температура внутри масленки поднялась всего на 5°C, а та сторона масленки, которая была обращена к нагревателю, стала уже сухой — как на вид, так и на ощупь. Противоположная сторона все еще оставалась влажной.

Подсушив в течение дня терракотовый колпак, я повторил этот же эксперимент с сухой масленкой. На этот раз воздух под колпаком нагревался со скоростью 1°C за каждые три минуты. Через полчаса температура внутри холодильника поднялась на 10°C — ровно вдвое больше, чем в опыте с намоченным колпаком.

Несколько позже я взвесил терракотовый колпак до и после насыщения водой. Намоченный, он был на 85 г тяжелее. Для того чтобы испарить впитавшуюся в колпак воду, должно быть израсходовано 192 кДж энергии. Если предположить, что интенсивность солнечного света, падающего на обеденный стол у меня во дворе, составляет примерно 1 кДж/с · м², то для полного высыхания колпака масленки он должен поглощать падающую на него энергию в течение 2 ч. На самом деле он высыхает быстрее, так как расположенные поблизости предметы тоже из-

лучают энергию в инфракрасном и видимом диапазонах и, кроме того, дополнительная энергия передается за счет конвекции.

В «юньнаньском горшке», который я приобрел у фирмы Williams-Sonoma, также используется вода, но теперь уже для других целей. Этот горшок, изготовленный из глазурованной керамики, в центре имеет трубу, и проходящий через нее пар нагревает содержимое горшка. Когда я готовлю гуляш или овощное рагу, я ставлю горшок в глубокую сковородку, наполненную водой. Как только вода нагревается, пар начинает подниматься по трубе и постепенно передает свое тепло приготавливаемой пище.

Механизм теплопереноса здесь несколько напоминает тот, что происходит в тепловой трубке, только испарившаяся вода уже не возвращается обратно, а конденсируется и выпадает в горшок с пищей, увлажняя ее. Во время готовки на пару обычно пользуются кастрюлей с решетчатым дном, устанавливаемой над кипящей водой. Пар проходит сквозь отверстия в дне и конденсируется на нижней поверхности готовящихся продуктов, передавая им свою теплоту испарения.

Немного воды при этом впитывается в продукты, но большая ее часть стекает обратно на дно паровой кастрюли и участвует в новых циклах испарения. В результате пища получается влажной, но не сочной. Преимущество «юньнаньского горшка» перед решетчатой кастрюлей состоит в том, что с его помощью можно готовить на пару жидкую пищу, в то время как при традиционном способе весь сок из продуктов стекает на дно паровой кастрюли, смешиваясь с водой.

Для проверки свойств «юньнаньского горшка» я поставил два несложных опыта, в которых использовались термопара, закрепленная примерно в 3 см над доньшком горшка посередине между наружной стенкой и центральной трубой. Сначала температура воздуха внутри горшка была равна 21°C. Когда я поставил горшок в сковородку с кипящей водой, температура стала расти со скоростью приблизительно 0,6°C/с и достигла 90°C чуть больше чем за 3 мин.

Остудив горшок, я накрыл верхушку трубы тяжелой крышкой и повторил все измерения. На этот раз температура повышалась раза в четыре медленнее и за 3 мин не достигла даже 55°C. Из этого неоспоримо следует, что быстрый рост температуры внутри горшка связан с высвобождающейся теплотой испарения, которую приносит идущий по трубе пар, а приток тепла через дно горшка играет лишь второстепенную роль.

Занимательный компьютер

О макаронном компьютере и других аналоговых устройствах

А. К. ДЬЮДНИ

В НАШИ дни, когда мы говорим о компьютерах, то неизменно подразумеваем цифровые ЭВМ. Их аналоговые собратья, электромеханические устройства, когда-то доминировавшие в мире вычислительной техники, теперь оказались преданными забвению. Перед второй мировой войной в ведущих исследовательских центрах работали замысловатые аналоговые компьютеры с витиеватыми названиями, такими, например, как «непрерывный интерграф» или «дифференциальный анализатор». В подобных машинах для представления математических уравнений использовались электрические или механические аналоги. Переменная в математическом уравнении обычно представлялась какой-нибудь физической величиной, например электрическим напряжением или углом поворота механического валика. Аналоговые компьютеры можно было применять для решения уравнений из различных областей научных исследований: баллистики, аэродинамики, анализа электрических цепей и т.д.

Однако аналоговые машины не смогли выдержать конкуренции с цифровыми ЭВМ, появившимися в конце второй мировой войны и начавшими быстро распространяться сразу после ее окончания. Аналоговые компьютеры, казалось, были способны решать лишь ограниченные классы задач, главным образом дифференциальные уравнения, да и то с относительно невысокой точностью. И напротив, что касается цифровых вычислительных машин, то вскоре стало ясно, что их можно запрограммировать для решения бесконечного многообразия задач самой различной природы, и притом с очень высокой точностью. Постепенно аналоговые машины отходили на второй план, и уже к середине 60-х годов о них лишь мельком упоминалось в книгах по вычислительной технике.

Хотя потомки грандиозных аналоговых машин 20-х и 30-х годов все еще используются в ряде исследовательских центров (новые устройства этого типа продолжают разрабатывать и сейчас), никто всерьез не ожидает, что аналоговые компьютеры смогут снова выйти на передний план. Революцию цифровых ЭВМ нельзя повернуть вспять. Однако верно также и то, что подобные революционные скачки в развитии техники иногда приводят к забвению при-

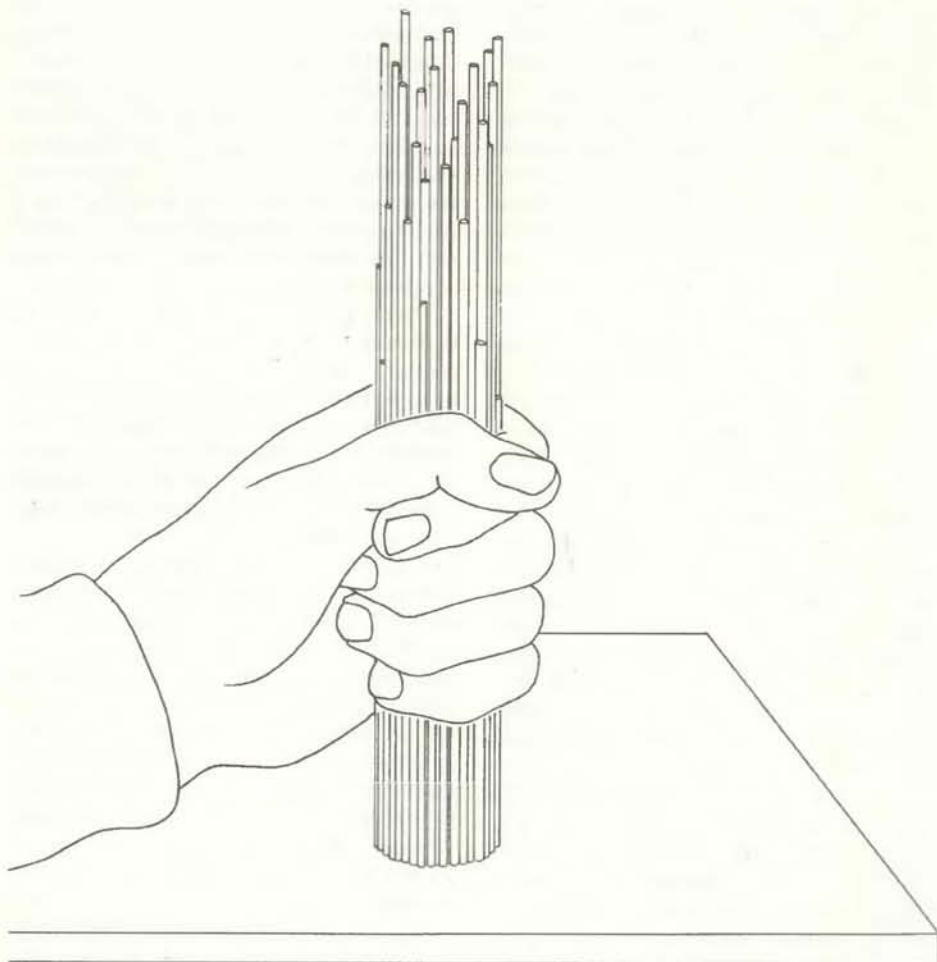
влекательных сторон, присущих устройствам старых типов.

ОСНОВНОЕ привлекательное свойство аналоговых компьютеров заключается в том, что при их использовании мы получаем результат как будто без всяких затрат. Решение задачи, которое потребовало бы многочасового вычисления на бумаге (или даже при помощи цифрового компьютера), получается просто при наблюдении физической системы, по мере того как она быстро достигает определенного конечного состояния. В некоторых наиболее ярко выраженных случаях этот процесс кажется почти мгновенным — устройство вычисляет как бы по маговению волшебной палочки.

Рассмотрим компьютер системы МАУ, или Макаронное аналоговое устройство. Этот "прибор" в опробован-

ной мною конфигурации способен отсортировать до 700 чисел в порядке убывания их величины. Сортировка представляет собой распространенный класс задач, решаемых при помощи цифровых компьютеров. Были разработаны довольно изощренные и эффективные алгоритмы сортировки. Проблема, однако, заключается в том, что время, требующееся для сортировки набора чисел, возрастает существенно быстрее, чем количество сортируемых чисел. Пользуясь компьютером МАУ, мы должны затратить некоторое время на подготовку машины к конкретному набору чисел, а также на «чтение» полученных результатов, но сам процесс сортировки не требует почти никаких временных затрат.

Посмотрим, как работает компьютер МАУ. Для каждого числа из сортируемого набора возьмем макаронную палочку (невареную) и укоротим ее таким образом, чтобы ее длина соответствовала величине данного числа. Разумеется, следует выбрать подходящий масштаб. Затем возьмем все обработанные макаронные палочки в руки и, держа пучок вертикально и не очень плотно сжимая, резко опустим его на поверхность стола; каждая макаронная палочка коснется поверхности стола. Теперь, чтобы получить отсортиро-



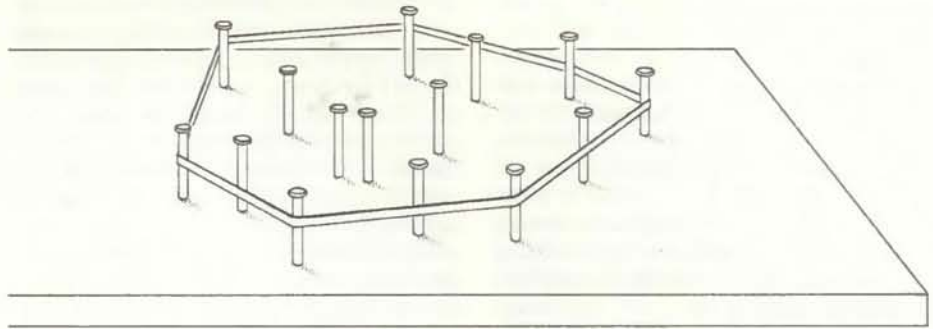
Макаронный компьютер сортирует совокупность чисел в порядке убывания

ванную последовательность чисел, нужно лишь доставать по порядку палочки из пучка: сначала самую длинную, затем — самую длинную из оставшихся и т.д., до тех пор пока не останется ни одной. Выбранные таким образом палочки измеряются, и соответствующие величины записываются.

В операции сортировки необходимо различать три фазы. Я называю их фазой предварительной обработки, аналоговой фазой и фазой завершающей обработки. В фазе предварительной обработки мы отмеряем длину макаронных палочек и укорачиваем их до нужного размера. В аналоговой фазе действует простой механизм, сортирующий палочки по длине. В фазе завершающей обработки мы выбираем их одну за другой и получаем отсортированную последовательность. Все устройства, о которых здесь идет речь, требуют как фазы предварительной, так и фазы завершающей обработки. Точно так же дело обстояло и с первыми аналоговыми компьютерами. На самом деле было затрачено много усилий и средств на то, чтобы ускорить процессы, протекающие в этих фазах.

Кое-кто, возможно, заметит: «Ну хорошо, при помощи МАУ можно отсортировать 700 чисел, а что делать, если их будет 7000 или, скажем, 7 000 000?». Чтобы ответить на этот каверзный вопрос, упомянем лишь о машине СУПЕР-МАУ, модифицированном автопогрузчике с вилочным захватом, который может поднять семь миллионов тщательно измеренных макаронных палочек (сверхдлинных) и прихлопнуть их торцами о кирпичную стену.

ВВОЗМОЖНО, найдутся и такие читатели, которые скажут: «Я могу отсортировать 700 чисел быстрее, чем МАУ. Пользуясь лишь карандашом и бумагой, я закончу процедуру даже раньше, чем макаронные палочки будут укорочены до нужных размеров!» К сожалению, я должен сознаться, что это, по-видимому, верно. Предположим, что потребуется примерно минута, чтобы прочесть очередное число из списка, отмерить соответствующую длину на макаронной палочке, обрезать ее и вставить в пучок. Предположим далее, что потребуется около 10 секунд на то, чтобы выбрать одну палочку из пучка и измерить ее после операции «прихлопывания» (занимающей всего лишь секунду). Тогда в общей сложности нужно будет затратить более 13 часов, чтобы при помощи МАУ отсортировать 700 чисел, причем все это время, за исключением одной секунды, будет потрачено на фазы предварительной и завершающей обработки. С другой стороны, соревнующийся с МАУ человек должен будет многократно просматривать список неотсо-



Нахождение выпуклой оболочки множества точек на плоскости

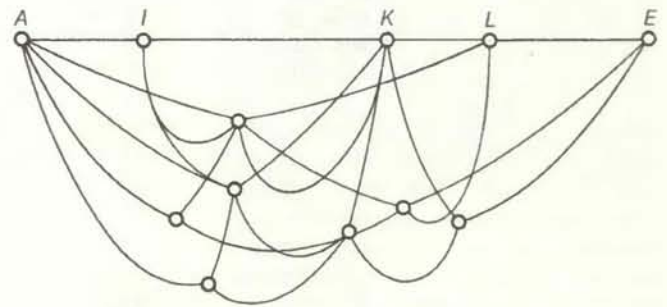
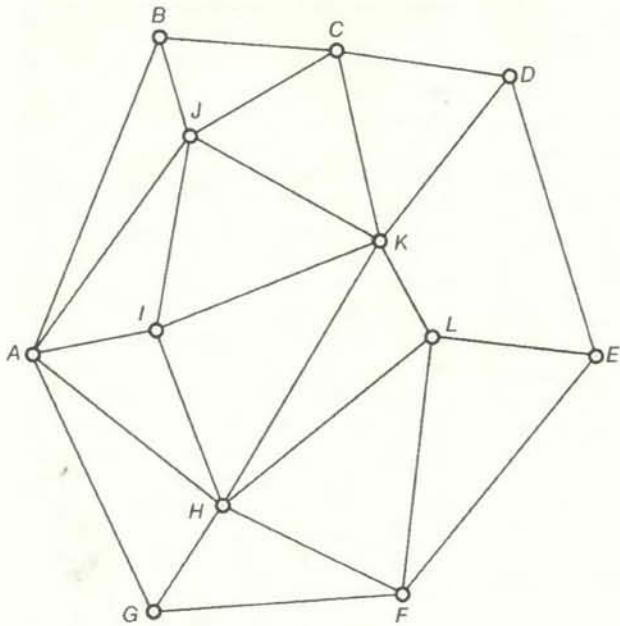


Несколько возможных функций, связывающих время вычислений с размером задачи

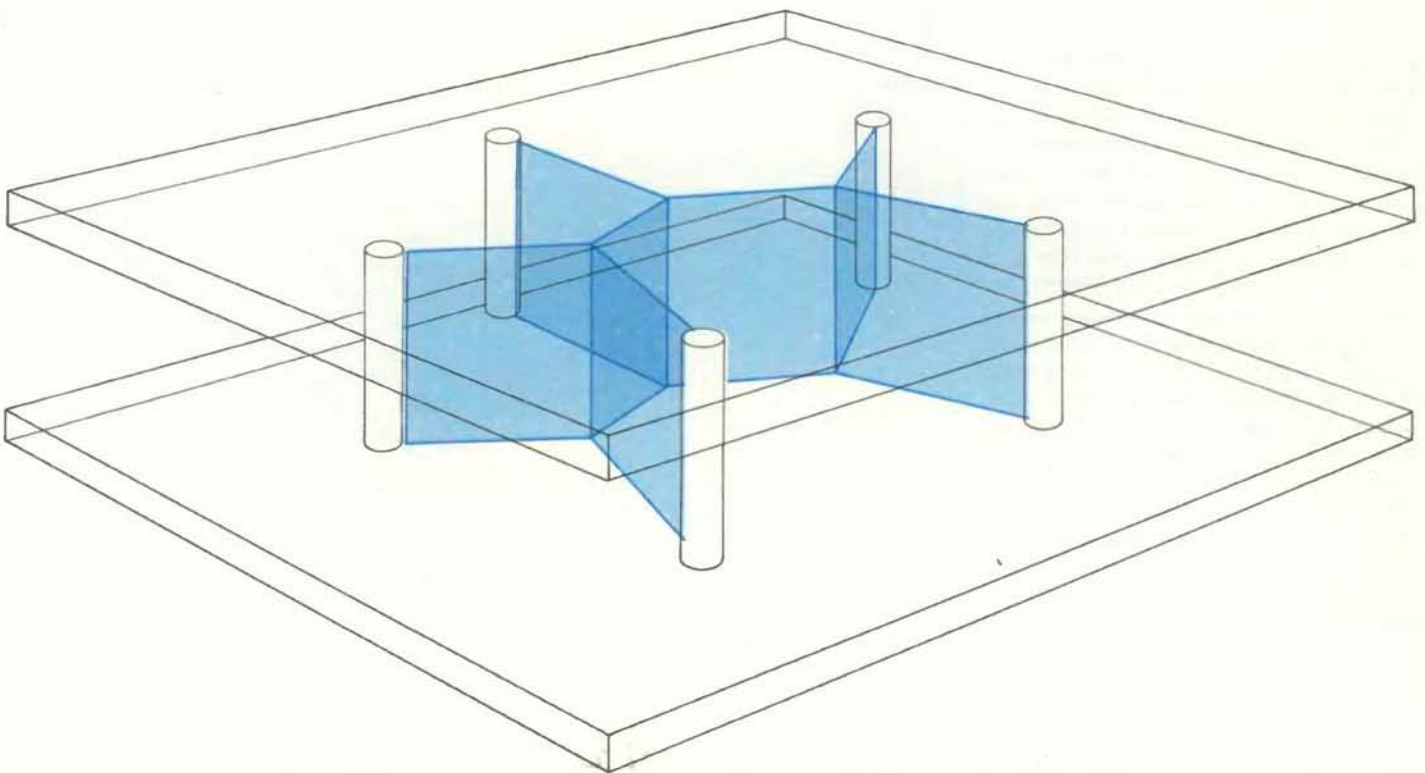
ртированных чисел в поисках максимального, записывать найденное число в список чисел по порядку и вычеркивать его из исходного. Потребуется около одной десятой доли секунды, чтобы посмотреть на каждое число в списке, и, таким образом, всего нужно будет затратить $(700 + 699 + \dots + 2 + 1)/10$ секунд, чтобы отсортировать заданный массив чисел. Суммарное время равно 175 минутам и 15 секундам, что даст неоспоримую победу над МАУ. Не следует ли сделать такой вывод, что привлекательность мгновенной аналоговой фа-

зы целиком и полностью сводится на нет слишком длительными фазами предварительной и завершающей обработки? Не будем торопиться с выводами. Допустим, что вдохновленный победитель захочет посоревноваться с машиной СУПЕР-МАУ в сортировке нескольких миллионов чисел. В то время как машине потребуется около 15 лет, чтобы справиться с этой задачей, человек не сможет закончить работу раньше чем через 74 000 лет! Чтобы понять, в чем состоит преимущество СУПЕР-МАУ, нужно исследовать вопрос о

том, как зависит время вычислений от размеров задачи. Как мы уже говорили, операция прихлопывания пучка макаронных палочек σ стену занимает всегда одно и то же время независимо от количества палочек в пучке. Будем говорить, что это операция с постоянным временем. Фазы предварительной и завершающей обработки представляют собой операции с линейным временем: их продолжительность возрастает прямо пропорционально с увеличением размера списка сортируемых чисел. Длительность же операций, выцо-



Аналоговое устройство для отыскания кратчайшего пути между двумя вершинами на графе



„Мыльное” решение задачи о минимальном дереве Штайнера для пяти точек на плоскости

ляемых человеком вручную, возрастает в этом случае значительно быстрее. Хотя список неотсортированных чисел постепенно уменьшается, количество операций, связанных с просмотром чисел, возрастает как квадратичная функция от размеров списка. В таких случаях мы говорим, что сортировка происходит с квадратичным временем. Рано или поздно процедура с линейным временем должна одержать верх над процедурой с квадратичным временем.

Даже несмотря на длительные фазы предварительной и завершающей обработки, достаточно мощная машина типа МАУ может выиграть соревнование по сортировке у современной цифровой ЭВМ, проводящей вычисления по самым эффективным алгоритмам сортировки. Последние требуют порядка $n \log n$ шагов, где n — количество сортируемых чисел в последовательности, а \log — обозначение логарифмической функции. Процедура с линейным временем, конечно, в принципе лучше, однако страшно себе представить, каких размеров должно быть макаронное устройство, чтобы выиграть это соревнование. Такое устройство, назовем его СУПЕР-ДУПЕЛЬ-МАУ, наверное, можно построить только в космосе, а прихлопывать пучок пришлось бы о поверхность Луны.

Следующее устройство из моей коллекции определяет границу выпуклой оболочки n точек на плоскости. Выпуклая оболочка — это наименьшая выпуклая область, содержащая все n точек. Она полностью определяется своей границей — многоугольником, вершины углов которого находятся в ограничивающих, или «внешних», точках, принадлежащих совокупности n . Устройство, вычисляющее границу выпуклой оболочки, сделано из большой широкой доски, нескольких гвоздей и круглой резинки. Я называю его ДАУ, а полное название Досочно-гвоздевое аналоговое устройство с круглой резинкой. Было бы заманчиво включить в сокращенное название бук-

вы от слов «гвозди» и «круглая резинка», но тогда оно получилось бы слишком громоздким, что-нибудь напоподобие ДОГВАУКР.

Чтобы собрать устройство, достаточно вбить n гвоздей в доску в места заданного расположения точек. Затем нужно взять круглую резинку, растянуть ее так, чтобы окружить все гвозди, вбитые в доску, и отпустить. Резинка прочно сядет на место, и ее контур точно определит многоугольник, представляющий собой границу выпуклой оболочки.

ЗДЕСЬ мы опять приходим к линейной по времени процедуре, которая предшествует аналоговой операции, заключающейся в данном случае в освобождении резинки. Потребуется несколько секунд, чтобы определить нужную точку для каждого гвоздя и вбить его в доску. После того как резинка отпущена, процедура определения границы полученной таким образом выпуклой оболочки займет несколько меньше времени, чем заняла бы процедура с линейным по n временем, потому что соответствующие замеры будут проделаны лишь для тех гвоздей, которых касается резиновый обруч.

Наиболее быстрый из известных алгоритмов отыскания границы выпуклой оболочки требует $n \log(\log n)$ шагов вычисления. Данная функция от n настолько близка к линейной, что соревноваться с цифровым компьютером, работающим по такому алгоритму, сможет, наверное, лишь колоссальная машина ДАУ, размеры которой были бы сравнимы с размерами Солнечной системы.

Задачей третьего устройства является отыскание кратчайшего пути, соединяющего две вершины на графе. В данном случае под графом мы понимаем набор отрезков, или ребер, соединяющих точки, называемые вершинами. В некоторых графах ребра могут быть различной длины, и именно с таким графом должно будет работать анало-

говое устройство ШНАУ, основным элементом которого служит шнурок, соединяющий вершины графа и представляющий собой его ребра. Каждая же вершина графа представляется маленьким медным колечком. Если какие-то две вершины соединены ребром, то в аналоговой модели этого графа соответствующие колечки соединяются кусочком шнурка нужной длины, к обоим концам которого пришиты крючки.

Чтобы найти кратчайший путь между вершинами u и v на графе, возьмем в одну руку колечко, представляющее вершину u , а в другую — колечко, представляющее v , и поднимем всю систему колечек, соединенных между собой шнурками. Затем разведем руки, натягивая шнурки до предела. В результате искомым кратчайшим путем будет представлен несколькими натянутыми шнурками, оказавшимися в верхней части поднятой системы. Шнурки же, представляющие ребра, которые не вошли в этот кратчайший путь, остаются менее натянутыми (см. верхний рисунок на с. 94). Если колечки были помечены буквами, соответствующими обозначению вершин, то последовательность вершин, через которые проходит кратчайший путь, легко установить, прочтя метки на колечках, соединенных натянутыми шнурками.

Если за размер графа принять количество его вершин n , то наибольшее количество шагов, которое потребуется как для фазы предварительной, так и для фазы завершающей обработки, будет определяться линейной зависимостью от n . Аналоговая фаза вычисления, как и обычно, выполняется в данном случае почти мгновенно. Наиболее быстрый известный алгоритм для решения этой задачи на цифровом компьютере требует порядка n^2 шагов.

ОБИДНО, конечно, что приходится учитывать фазы предварительной и завершающей обработки при подсчете сравнительного быстродействия описанных выше устройств, но, честно го-



Лазерное аналоговое устройство показывает, что число 15 является не простым, а составным

воря, это неизбежно, так как они представляют собой неотъемлемую часть общей процедуры решения задачи. Без них мы не смогли бы ни поставить задачу, ни «прочитать» полученный результат.

Некоторые аналоговые устройства совершенно не требуют подобной обработки, потому что они непосредственно встроены в систему, которая сразу же использует полученный результат. Приведем два примера. Первый — это система сортировки на спицах, когда-то широко применявшаяся в библиотечных каталогах. Второй пример — трюк с балансированием тарелки на одном пальце. В системе сортировки на спицах используются карточки с прорезями и маленькими отверстиями по краям, при помощи которых можно быстро определить, какие книги должны быть сданы к тому или иному сроку. Карточки укладываются в стопку и через отверстия, соответствующие данному дню, пропускается длинная спица. Если теперь поднять спицу, то на ней останутся только те карточки, у которых в том месте, куда вставлена спица, находится отверстие. Карточки, имеющие в этом месте прорези, остаются в стопке.

Трюк с балансированием показал мне «матемаг» Роналд Л. Грейам, работающий в фирме AT&T Bell Laboratories. Сначала Грейам удерживает тарелку на трех широко расставленных пальцах. По мере того как он сближает пальцы, центр тяжести тарелки остается между ними, поскольку палец, на который приходится меньший вес, легче скользит по дну тарелки. Если сблизить пальцы настолько, чтобы между ними можно было вставить четвертый палец, то положение этого четвертого пальца окажется достаточно близким к центру тяжести, и тарелка будет балансировать на этом пальце, после чего можно убрать остальные. Грейам предупреждает, что начинающим следует основательно попрактиковаться, прежде чем демонстрировать трюк за праздничным столом.

До сих пор я применял аналоговые устройства лишь к тем задачам, для решения которых уже были найдены довольно быстрые алгоритмы. О таких задачах говорят, что они имеют полиномиальную сложность, потому что количество шагов вычисления, требующееся для их решения, можно выразить (или по крайней мере ограничить сверху) через полиномиальную функцию от n , числа, характеризующего размер задачи. Например, время решения может оказаться пропорциональным самому числу n , или n^2 , или $n \log n$, или $n^{2.7}$. Существуют и такие задачи, в том числе имеющие практическое значение, для которых не найдено полиномиального алгоритма. Лучшие из известных алгоритмов их решения требу-

ют времени, экспоненциально возрастающего с ростом размера задачи. Обычно время решения оказывается пропорциональным 2^n — функции, растущей быстрее любого полинома. При большом, а иногда даже умеренном размере задачи время, необходимое для ее решения, равно просто чудовищной величине. Почему бы не попробовать наши устройства на некоторых из этих труднорешаемых задач?

НАПРИМЕР, это могла бы быть задача отыскания самого длинного из всевозможных путей, соединяющих две вершины на графе. Она оказалась значительно труднее, чем задача отыскания кратчайшего пути. На самом деле об этой задаче говорят как об NP -полной. Этот термин применяют к труднорешаемым задачам, для которых не удается найти полиномиального алгоритма. Читатели, желающие подробнее ознакомиться со свойством NP -полноты и не боящиеся иногда встречающихся в тексте математических обозначений, могут прочесть отличную книгу М. Гэрри и Д. Джонсона «Вычислительные машины и труднорешаемые задачи» (издательство «Мир», 1982 г. — Прим. перев.)

Иногда, чтобы решить задачу, нужно приложить физическую силу. Взять, к примеру, задачу о кратчайшем пути между двумя вершинами на графе, решенную натяжением шнурков. Если потянуть за колечки сильнее, то шнурки начнут рваться один за другим. Наконец, перед тем, как порвется вся система, все оставшиеся целыми шнурки будут туго натянутыми. В этот момент мы получаем решение задачи о самом длинном пути.

Всегда ли? На некоторых графах этот метод оказывается эффективным, на других он не работает. Возможно, читатели получат удовольствие, построив примеры графов как первого, так и второго типов. Когда вы натягиваете систему из нескольких шнурков, первый порвавшийся шнурок считайте «наихудшим случаем».

Возможно, не следует пытаться «с легу» решать NP -полную задачу аналоговыми средствами. Однако теория о вычислимости утверждает лишь то, что NP -полные задачи являются труднорешаемыми только для цифровых компьютеров, и не содержит никаких фактов, отрицающих возможность решения таких задач аналоговыми методами. Поэтому сделаем еще одну попытку.

В задаче о минимальном дереве Штайнера требуется соединить n точек на плоскости графом минимальной общей длины. Эта задача по существу эквивалентна задаче соединения n городов системой дорог, общая длина которых была бы минимальной. В число вершин графа помимо исходных точек можно включить еще и дополнитель-

ные, так сказать для построения проселочных дорог. Нетрудно убедиться, что искомым минимальный граф представляет собой дерево, т.е. граф, в котором отсутствуют замкнутые пути. Более того, оказывается, что любая дополнительная вершина в минимальном дереве соединяется с тремя другими вершинами ребрами, образующими углы 120° относительно друг друга (см. нижний рисунок на с. 94).

Задача о минимальном дереве Штайнера является NP -полной, и для нее не известно алгоритма, требующего менее 2^n шагов вычисления (где n — количество вершин). Тем не менее существует прибор, называемый мною Пузырьковым аналоговым устройством, который, по-видимому, дает «мыльное» решение описанной задачи. Приделайте ручку к двум параллельно расположенным прозрачным пластмассовым пластинкам и вставьте между пластинками тоненькие штырьки, представляющие исходные точки, которые нужно соединить. Затем погрузите устройство в мыльную воду. Вынув его из воды, вы увидите, как мыльная пленка соединит n штырьков, образуя изящное дерево Штайнера.

Однако ваша радость при виде этого решения будет преждевременной. Можно ли быть полностью уверенным, что полученное таким образом дерево является деревом минимальной длины? На самом деле мыльная пленка образует, как правило, всегда наименьшую возможную сеть для данной топологии, однако может существовать и другая топология, для которой может быть построено еще более короткое дерево. В зависимости от схемы расположения штырьков и угла, под которым устройство вынимается из мыльной воды, полная длина участков мыльной пленки может оказаться, а может и не оказаться абсолютно минимальной. Таким образом, и эта попытка решить NP -полную задачу аналоговыми методами не принесла успеха.

ОДНА ИЗ наиболее известных вычислительных задач заключается в том, чтобы определить, является ли заданное целое число N простым или составным. (Если оно делится без остатка на какое-нибудь число, отличное от N или 1, то оно составное; в противном случае — простое.) Эта задача имеет очень быстрое аналоговое решение, если воспользоваться Лазерным аналоговым устройством, или сокращенно ЛАУ. Нужно установить два параллельных зеркала $M1$ и $M2$ и два лазера, так чтобы лучи, испускаемые лазерами, многократно отражались от зеркал $M1$ и $M2$, как показано на рисунке на с. 95. Угол, под которым направлен один лазер, подобран таким образом, чтобы его луч отражался по N раз от каждого зеркала, а затем попадал в

детектор, находящийся на конце зеркала MI . Второй лазер располагается так, что вначале его луч совпадает с лучом первого лазера, а затем второй лазер быстро меняет направление и его луч проходит через определенный диапазон углов.

По мере того как меняется направление второго луча, он периодически попадает в детектор на конце зеркала MI . По всей длине этого зеркала проходит также специальная детектирующая полоса. Она срабатывает всякий раз, когда два луча попадают в одну и ту же точку. За состоянием детектора на конце зеркала MI и за детектирующей полосой следит простая электронная схема. Если оба детектора срабатывают одновременно, схема регистрирует это совпадение, и зажигается лампочка. Этот световой сигнал говорит о том, что число N является не простым, а составным. Для того чтобы имело место подобное двойное совпадение, необходимо, чтобы луч второго лазера отразился n раз от зеркала MI и число N должно делиться на n без остатка.

Говоря об этой задаче, следует быть очень осторожным при выборе параметра, характеризующего ее размер. Если этот размер определить просто как N , то существуют цифровые алгоритмы, способные решить эту задачу за полиномиальное время. Однако правильнее было бы считать, что размер задачи гораздо лучше характеризует величина $\log N$, так как она представляет собой длину цепочки цифр, образующих число N . При таком определении размера задачи никто не может сказать, является она NP -полной или нет. Принимая во внимание, что компьютер ЛАУ успешно справился с этой задачей, а остальные аналоговые устройства при попытках решения так называемых труднорешаемых задач не справились с ними, не следует ли предположить, что последняя из рассмотренных задач не является NP -полной?

До сих пор я избегал очень важного вопроса, касающегося технической реализации таких аналоговых устройств, как МАУ, ДАУ, ШНАУ и ЛАУ. Хотя каждое из этих устройств можно действительно построить и даже воспользоваться им, демонстрируя решение небольших задач, было бы, конечно, неразумно создавать подобные устройства в расчете на серьезное применение. Однако на эту проблему можно взглянуть и с точки зрения «идеальных» технических возможностей, когда конструктор располагает какими угодно идеальными материалами и когда каждое устройство работает точно так, как было задумано. Было бы очень интересно пофантазировать о том, на что способны аналоговые вычислительные устройства в таких идеальных условиях.

Возможно, читатели в своих письмах

опишут какие-нибудь другие аналоговые устройства, я бы ознакомился с их изобретениями с большим интересом. Честно говоря, мне не известно, кто изобрел первые два устройства, описанные в этой статье. Наверное, они уже стали частью своеобразного фольклора, бытующего в кругах, связанных с вычислительной наукой и техникой. Шнурковое устройство, кажется, изобрели М. Минский и С. Пэйперт из Массачусетского технологического института. Описание пузырькового устройства я нашел в удивительной книжке С. Айзенберга «Теория мыльной пленки и мыльных пузырей». Лазерное аналоговое устройство является моим собственным изобретением.

Кстати, это лазерное устройство на-

помнило мне об одной забавной задаче, над которой некоторым читателям будет, наверное, интересно поразмыслить. Представим себе зеркальный ящик в виде плоского прямоугольника. Предположим, что зеркальные стороны этого прямоугольника обладают идеальной отражательной способностью. В идеальных условиях можно было бы удалить одну-единственную точку в вершине одного из углов ящика и пропустить одномерный лазерный луч внутрь через это бесконечно малое отверстие. Полученное таким образом устройство вычисляет нечто касающееся угла, под которым направлен луч. Ответ зависит от того, выйдет ли когда-нибудь луч обратно из ящика, а вот как поставить задачу — неизвестно.

Издательство МИР предлагает:

РУКОВОДСТВО ПО НЕОРГАНИЧЕСКОМУ СИНТЕЗУ

В шести томах

Под редакцией Г. Брауэра

Перевод с немецкого

Книга переводится с третьего, составленного Г. Брауэром, издания «Руководства», широко известного во всем мире и ставшего по существу энциклопедией неорганического синтеза.

Перевод на русский язык первого издания был осуществлен в 1956 г. Издательством иностранной литературы. «Руководство» широко вошло в повседневную практику высших и средних специальных учебных заведений, институтов, заводских лабораторий, научных учреждений. Им пользуются не только химики-неорганики, но и представители многих других профессий — технологи, биологи, геологи и др.

Однако это издание давно стало библиографической редкостью. В новом издании осуществлен гораздо более широкий охват материала с учетом последних достижений в различных областях синтетической не-

органической химии. Ценность книги не только в собрании огромного числа методик синтеза (описан синтез более 3000 препаратов), но очень важен также сделанный авторами отбор наиболее воспроизводимых и простых процессов, позволяющих синтезировать чистые вещества.

Трудно переоценить также значение этого пособия в практике обучения химиков современным методам препаративной химии. Обширность содержащегося в книге материала дает преподавателю возможность выбрать синтез, соответствующий поставленной задаче — отработки определенного метода работы, изучения химии элементов и т.д. Большую пользу может принести настоящий справочник и при выборе задания для курсовых работ учащихся, изучающих химию.

1985. Цена 13р.70к. за комплект.

Подписка принимается
магазинами и отделами
подписных изданий



Нейробиология микроэлементов; биография Резерфорда; сложные поверхности; производство пива ФИЛИП MORRISON

НЕЙРОБИОЛОГИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ. Том 1: Нейробиология микроэлементов и заболевания при их недостатке. Том 2: Нейротоксикология и нейрофармакология. Под редакцией Айвора Э. Дреости и Ричарда М. Смита. NEUROBIOLOGY OF THE TRACE ELEMENTS, VOLUME I: TRACE ELEMENT NEUROBIOLOGY AND DEFICIENCIES; VOLUME 2: NEUROTOXICOLOGY AND NEUROPHARMACOLOGY, edited by Ivor E. Dreosti and Richard M. Smith. The Humana Press, Inc., Clifton, N.J. 07015 (\$49.50 per volume)

ЗАГОЛОВОК CHONPS составлен из символов шести легких химических элементов, входящих в состав важнейших биополимеров — нуклеиновых кислот, белков, сахаров, соединений, слагающих структуры клетки (коллаген, целлюлоза, хитин и т.п.), а также липидов клеточных мембран и более простых соединений, обеспечивающих метаболизм в тканях, в том числе универсального донора энергии АТФ и всех участников цикла Кребса, в круговороте которых и образуется АТФ, это топливо живых тканей. Другие элементы также играют незаменимую роль в создании живых форм и в этой роли выступали еще на заре развития жизни на земле при возникновении бактерий; это хлор, натрий, калий, кальций, магний, и элементы, наиболее распространенные во Вселенной — стабильные изотопы железа, марганца, кобальта, меди и цинка. Они входят в состав комплексов со сложными циклическими органическими соединениями, как, например, в жизненно важных красных и зеленых пигментах — геме гемоглобина и хлорофиллах растений. Атомы этих элементов имеются в широко распространенных специфических ферментах, например в каталазе; кроме того, их ионы растворены в жидкостях как внутри, так и вне клетки. Короче говоря, 25 из 83 долгоживущих элементов необходимы для тех или иных живых существ.

Четырнадцать из них содержатся в организме в количествах, не превышающих 0,0001 общего веса организма, или еще меньше. Такие элементы называют микроэлементами. Это невидимые питательные вещества: узнать, что они есть в пище или организме

можно только с помощью специального анализа, а необходимая суточная доза составляет всего несколько миллиграммов, и недостаток микроэлемента в пище может долго оставаться незамеченным. Опыт медицины свидетельствует о том, что наряду с необходимыми для жизни микроэлементами, в живых тканях есть и противоположные по своему действию химические элементы — те, которые даже в минимальных количествах вредны или ядовиты. Здесь особенно следует отметить зловещую роль неуклонно растущей «индустриализации» окружающей среды. Поскольку в микроколичествах цинк, например, необходим для роста ткани, то не удивительно, что следы кадмия, который является в химическом отношении аналогом цинка, но лишен некоторых его свойств, приводят к развитию дефектного эмбриона, причем патология такая же, как при недостатке цинка. Идея о подмене одного элемента другим — лишь первый шаг в объяснении их сложных запутанных взаимоотношений.

За последнее десятилетие развитие высокочувствительных методов анализа, достижения биохимии и повышенный спрос на исследования медицинских аспектов проблемы привели к настоящему буму работ по микроэлементам — клинических, экспериментальных и эпидемиологических. В «Нейробиологии микроэлементов» рассматривается одна из сторон воздействия микроэлементов на организм: их влияние на нервную систему, которая у позвоночных является главным регулятором жизнедеятельности. При этом проблема «организм и микроэлементы» отнюдь не сужается; ведь большинство патологических процессов, связанных с ними, так или иначе затрагивают нервную систему. Примеры таких патологий — дрожательные параличи, вызванные ртутью, эндемический кретинизм при большом недостатке йода; эти заболевания известны так давно, что их названия стали нарицательными.

Из почти 20 глав, представляющих собой подробные обзоры, одна, написанная австралийскими специалистами, посвящена заболеваниям, развивающимся при недостатке йода. Это одна из наиболее важных патологий, свя-

занных с недостаточностью тех или иных микроэлементов. Характерный зоб, развивающийся у жителей горных районов Европы, давно предупреждают и лечат, добавляя йод к соли, хлебу и воде; такой способ легко ликвидирует патологический процесс. В то же время в перенаселенных развивающихся странах, где люди питаются в основном плодами возделываемой земли, в которой очень мало йода, так как он вымыт из нее в результате оледенений и обильных дождей, широко распространен эндемический кретинизм, не поддающийся лечению ни путем иодизации пищи, ни даже с помощью гормона щитовидной железы. Страдающие им люди — невинные жертвы окружающей среды. Во французских Альпах их зовут *bon chrétien**. Для них характерны бессмысленный взгляд и спастические рефлексы, а зоб нередко вовсе не выражен. В настоящее время в одном только Китае таких больных, по-видимому, 1—2 млн. В Европе частота этого заболевания уменьшилась, но отсутствие отчетливой корреляции между заболеваемостью и иодизацией заставляет сомневаться в том, что единственная причина этой болезни — недостаточность йода. Такая корреляция наблюдается при другом, менее распространенном заболевании — гипотиреоидной карликовости, иногда также называемой кретинизмом; в отличие от эндемического кретинизма она прекрасно поддается лечению гормоном щитовидной железы.

Теперь можно считать установленным, что неврологические изменения индивидум получает по наследству от матери, страдавшей от недостатка йода. Лет десять назад было проведено лечение женского населения по берегам реки Джими в западных горных районах Папуа (Новая Гвинея). Женщины из разных семей получали однократную инъекцию либо иодированного масла, содержавшего 2 г йода, что, как известно, предупреждает йодную недостаточность на 5 лет, либо такого же объема физиологического раствора. Каждого ребенка из почти 700, родившихся в этих семьях в течение последующих 5—6 лет, обследовали на предмет двигательных нарушений и глухоноты, причем это делали врачи, не знавшие, какую именно инъекцию получила мать ребенка.

Результаты этого обследования очень показательны. Год за годом рождались глухонемые или умственно отсталые дети. У матерей, получивших инъекцию йода, родилось всего 7

* *Bon chrétien* — название известного во Франции сорта груш; видимо, в прозвище обыгрывается сходство зоба с грушей. Буквальное значение этого словосочетания — «добрые христиане» — намекает на безобидный характер больных. — *Прим. ред.*

детей, больных кретинизмом, причем во всех семи случаях беременность наступила не позже чем через месяц после инъекции. При зачатии позже этого срока больных детей не рождалось. В контрольной группе вначале ситуация такая же: родилось 6 кретиников, зачатых в первый месяц после инъекции, а далее постоянно из года в год у женщин, не получавших йода, рождались немые или замедленно развивавшиеся дети. Ясно, что физиологический раствор не имел никакого эффекта, а всего лишь одна инъекция дешевого йодного препарата практически полностью ликвидировала вероятность развития заболевания. Недостаток только 1 миллиграмма йода в сутки губит всю жизнь ребенка.

Больные кретинизмом, помимо всего прочего, — тяжкое бремя для общества. Хотя это заболевание встречается не везде, есть данные о том, что дети, рождающиеся от матерей с йодной недостаточностью, могут не страдать кретинизмом, но явные двигательные нарушения наблюдаются у них с такой же частотой, как и в популяциях, в которых кретинизм распространен. К счастью, в настоящее время разрабатываются и осуществляются широкие программы по iodизации населения в Китае, Индии, Индонезии и Заире. Эксперименты на животных (крысах, обезьянах и овцах) подтвердили, что у плода с йодной недостаточностью развиваются патологии, аналогичные гипотиреоидной форме кретинизма. Однако происхождение неврологической формы заболевания все же остается неясным. Так, изменения в мозгу у ягнят с йодной недостаточностью можно ликвидировать с помощью гормона щитовидной железы, как это имеет место и у человека. Но пока не удалось вызвать глухоту или спастические двигательные нарушения у ягнят ни варьированием количества йода в пище и питье (животные получали нормальное количество пищи, но кукуруза, которой их кормили, была выращена на бедной йодом почве), ни удалением у овец-маток щитовидной железы. Так что мы умеем предупреждать болезнь, но пока не знаем тайны ее развития в человеческом организме.

Мозг человека, особенно в процессе формирования, весьма чувствителен и к недостатку, и к избытку меди. Прошло уже 50 лет с тех пор, когда было установлено, что в западной Австралии паралич у ягнят связан с недостаточным содержанием меди на пастбищах. (Возможно, именно это открытие пробудило в Австралии интерес к изучению микроэлементов с точки зрения медицины; во всяком случае, так можно заключить, судя по материалам, представленным издателями этой книги, по предисловию, написанному Ф. Макферленом Бэрнетом, и по мно-

гочисленным ссылкам.) Удалось показать, что недостаточность некоторых ферментов в мозгу и потеря организмом дофамина (он является одним из веществ, обеспечивающих передачу нервных импульсов), т.е. явления, характерные для болезни Паркинсона у человека, обнаруживаются и у крыс с резкой недостаточностью меди, особенно у некоторых видов крапчатых мутантов. Правда, препараты, которые помогают больным паркинсонизмом, пока еще не проверялись на крапчатых крысах. По-видимому, существует какая-то связь с пигментом меланином, участвующим в превращениях аминокислоты тирозина; обнаружено, что в двух небольших пигментированных участках ствола мозга как у крысы, так и у человека относительно велика концентрация меди. Целый ряд убедительных биохимических данных указывает на то, что медь важна в процессах окислительного метаболизма, который после рождения становится в мозгу основным. Кислород в одно и то же время и необходим организму, и ядовит для него, и если количество имеющейся в организме меди недостаточно для обеспечения физиологических механизмов защиты от кислорода и удовлетворения возрастающей потребности в энергии окисления, то это наверняка приведет к постоянной патологии тканей.

Цинк и селен, марганец и кобальт, свинец, кадмий, ртуть, алюминий и даже литий — этот удивительный целебный микроэлемент — также рассматриваются в книге. Обсуждаются и эпидемиология, и спонтанные генетические заболевания у человека и животных, и гистохимические методики определения микроэлементов, и биохимия ферментов со всеми ее достижениями, и количественные исследования поведения животных, и анатомия нервной системы и ее основных центров. В книге довольно много методических подробностей и специальной терминологии, однако это необходимо для полноты представлений о современном уровне исследований.

В последнее время много занимаются нейромедиаторами, и проблемы химической регуляции нервной деятельности также нашли отражение в «жизнеописании» микроэлементов. Впрочем, теорий в этой области больше, чем фактических данных. В то же время в лечении микроэлементных недостаточностей успехи существенно больше, чем в фундаментальных исследованиях, — отчасти по воле случая, отчасти благодаря актуальности практического подхода.

Вся совокупность данных обобщается утверждением того, что «каждый микроэлемент стал необходимым и незаменимым, потому что в процессе эволюции они заполнили не связанные

между собой «ниши» метаболизма». Возьмем к примеру марганец, который издавна считался профессиональным ядом. Хроническое передозирование его может привести к психозу, известному как «марганцевое безумие», при котором имеют место галлюцинации и непроизвольный смех, а в конце концов развиваются нарушения речи и походки и появляется тремор. В то же время марганец в дозе около 1 мг в день необходим. У крыс одним из признаков недостаточности марганца является потеря ориентации. Как оказалось, это результат не только тончайших нарушений передачи нервных импульсов через синапсы, но и аномального образования отолитов во внутреннем ухе. Если когда-нибудь сложится окончательная картина нейробиологии микроэлементов, она будет поистине удивительной.

Дэвид Уилсон. РЕЗЕРФОРД: ОБЫКНОВЕННЫЙ ГЕНИЙ
RUTHERFORD: SIMPLE GENIUS, by David Wilson. The MIT Press (\$25)

ЭРНСТ РЕЗЕРФОРД был высоким, крепким деревенским парнем; образование он получил в основном благодаря заслуженным им стипендиям. В двадцать три года Эрнст закончил Кентерберийский колледж в Крайстчерче (Новая Зеландия) по специальности физика, заняв первое место среди выпускников как по физике, так и по математике и получив степень магистра.

Еще в колледже он построил первый магнитный детектор волн Герца. Ожидая присвоения стипендии за свои научные работы, которая позволила бы ему поехать в Англию для продолжения научных исследований, Эрнст в течение года преподает в школе и работает на ферме. Но вот надежды его сбылись. Эрнст копал картошку в Пунгареху, когда мать принесла ему телеграмму с радостной вестью. Отбросив лопату в сторону, он произнес: «Это моя последняя картошка». И оказался прав.

В октябре 1895 г. молодой Резерфорд прибыл в Кембридж для продолжения научной работы в Кавендишской лаборатории под руководством профессора Дж. Томсона. В течение нескольких месяцев он продолжает успешно работать над усовершенствованием своего детектора радиоволн. Однако в январе 1896 г. научный мир взволновало неожиданное сообщение Вильгельма Рентгена об обнаруженных им загадочных лучах. Это открытие, по существу, возвестило (быть может, несколько преждевременно) рождение физики XX века.

Одним из первых исследований нового излучения занялся Дж. Томсон, и уже весной 1896 г. к этой работе присо-

единился Резерфорд. Опыты по передаче и приему электромагнитных сигналов отошли на второй план, и первые радиотехнические устройства, имевшие практическое применение, были созданы другими талантливыми изобретателями, к числу которых относится Маркони. С этого времени до конца своей жизни, т.е. в течение 40 лет, Резерфорд находился на гребне волны открытий в атомной физике. (Однажды он сказал: «Разве не я породил эту волну?».) Эти открытия привели к крупномасштабному высвобождению ядерной энергии, свидетелем чего Резерфорду уже не довелось стать.

Эта первая полная биография ученого во многом опирается на уже известные воспоминания его коллег и сотрудников. Автор использовал также труды историков современной науки. Однако главным достоинством книги является то, что Д. Уилсону удалось за долгие годы работы научным репортером Би-би-си обнаружить в архивах

Новой Зеландии, Монреаля и, конечно, в библиотеке Кембриджского университета немало новых интересных материалов. Особый интерес представляют воспоминания советского ученого, академика П. Л. Капицы, опубликованные впервые с его разрешения. П. Л. Капица в молодые годы был одним из ведущих ученых Кавендишской лаборатории и близким другом Резерфорда. Именно он дал Резерфорду прозвище Крокодил, уверяя его, что в России так называют отцов семейств.

Интересен вопрос, затронутый автором в заключительной части книги. Он отмечает, что почти мистический ореол вокруг личности Альберта Эйнштейна, а также известность Р. Оппенгеймера и других создателей атомной бомбы привели в конце войны к возникновению у американцев неверного представления, что успехи в ядерной физике (в частности, в использовании ядерной энергии) достигнуты исключительно благодаря физикам-теоретикам. В тот период английские физики-экспериментаторы не смогли бы опровергнуть это представление. Эрнста Резерфорда уже почти десять лет не было в живых, большинство его учеников играли далеко не первые роли в осуществлении американского ядерного проекта, а сама Кавендишская лаборатория к концу войны превратилась в «старую, запущенную».

Автор книги вспоминает, что в те дни он был несколько разочарованным студентом-физиком в Кембридже. Теперь же ему удалось показать, как на протяжении нескольких десятилетий экспериментаторы во главе с Резерфордом удерживали лидерство в ядерной физике. Именно они заложили её фундамент, начав исследования радиоактивного распада, атомных превращений, открыв заряженное атомное ядро, ядерные реакции, изотопы и, наконец, нейтрон — и все это без сколько-нибудь значительной помощи со стороны теоретиков. В послевоенной истории Кавендишской лаборатории также немало славных страниц, но книга об этом еще не написана. Следует, однако, отметить, что последние крупные открытия кембриджских ученых не относятся к области ядерной физики: важнейшие и самые известные из них — двойная спираль ДНК и пульсар.

Изложение в книге ведется в хронологическом порядке. В краткой рецензии невозможно перечислить даже наиболее интересные свидетельства современников и документы, использованные автором этого 600-страничного тома. Однако стоит привести здесь отрывок из воспоминаний сэра Марка Олифанта, где он делится впечатлениями о Резерфорде и Кавендишской лаборатории, в которой начал работать в 1930 г. «Я вошел в небольшой кабинет. . . На письменном столе был по-

лный беспорядок. . . Шел дождь и струйки воды нехотя стекали по грязным стеклам незапертого окна. . . Я был тепло встречен крупным человеком с красным лицом, редущими светлыми волосами и большими усами, который напомнил мне хозяина магазина или почты в небольшом селе, скажем, неподалеку от Аделаиды. . . С Резерфордом я сразу почувствовал себя легко и непринужденно».

Интересно отметить, что в то время, когда еще были сильны предрассудки об участии женщин в научной работе, Резерфорд «относился к женщинам как к равным. . . активно содействуя их научной карьере в своих лабораториях». Он поддерживал Марию Кюри в трудные минуты ее жизни, и их связывали долгие дружеские отношения. Много близких друзей было у Резерфорда и среди теоретиков. Так, знаменитый Нильс Бор начинал свою научную работу в Манчестере под руководством Резерфорда. Они оставались друзьями всю жизнь. Позже именно Бор со слезами на глазах объявил о смерти Резерфорда. Рассказ об отношениях Резерфорда с другими физиками был бы неполным без упоминания о его помощи ученым, эмигрировавшим из третьего рейха. Резерфорд, обычно не интересовавшийся политикой, со всей своей убежденностью и энергией возглавлял работу Британского совета академической помощи, который уже к 1936 г. оказал содействие 1300 немецким ученым.

Еще за 6 лет до того, как Ханс Гейгер и Эрнст Марсден, терпеливо подсчитывая крошечные вспышки в темноте, измерили однократное рассеяние альфа-частиц, Резерфорд заметил, что поля самых сильных магнитов в его лаборатории отклоняли пучок альфа-частиц на такой же угол, как и при диффузном рассеянии, когда пучок частиц проходил через тонкую пластинку слюды. При этом, чтобы также отклонить пучок частиц электрическим полем, «потребовалось бы поперечное поле напряженностью около 100 млн. вольт на 1 см. . . Этот результат показывает, что внутри атомов вещества действуют очень мощные силы», — писал он тогда. Позже это предположение Резерфорда нашло экспериментальное подтверждение. С 1920 г. проводились поиски нейтрона, значение которого для ядерных реакций Резерфорд создавал с самого начала, однако лишь в 1932 г. Джеймсу Чедвику удалось обнаружить эту частицу.

В целом книгу можно охарактеризовать как подробное изложение всего, что известно о жизни и научной деятельности человека, который действительно был великолепным экспериментатором и, конечно, необыкновенным вопреки заголовку книги. Скорее он был мастером в очень сложном и не-

Издательство
МИР
предлагает:

**И. Костов,
И. Минчева-Стефанова**
**СУЛЬФИДНЫЕ
МИНЕРАЛЫ.**
Кристаллохимия,
парагенезис и
систематика

Перевод с английского

Новая книга известного болгарского минералога академика И. Костова и И. Минчевой-Стефановой посвящена важному классу минералов — сульфидам и их аналогам (арсениды, селениды, теллуриды и т.п.). Детально рассмотрены кристаллохимические особенности сульфидов, изложены оригинальные представления об их образовании и ассоциации и на этой основе предложена классификация сульфидов. Табличное приложение к книге содержит важнейшие химические и кристаллохимические данные 515 минеральных видов.

1984 г., 19 л.
Цена 3 р. 15 к.



обычном деле, человеком чуткой и благородной души с манерами и внешностью самодовольного деревенского сквайра. Автор рассказывает о различных проблемах, интересовавших Резерфорда, — от роли теории в развитии физики до использования больших машин. Уилсону несомненно удалось портреты ученых, никто из них не выглядит стереотипно. Автор рецензии убежден, что самому Резерфорду книга пришлось бы по душе.

Резерфорд принимал участие в первых военных разработках физиков во время мировой войны 1914—1918 гг. Его можно считать одним из создателей гидролокатора. Однако даже в то время он не забывал о своей главной работе. Об этом свидетельствуют известные слова, которые он сказал, извиняясь за свое отсутствие на совещании международного комитета по борьбе с подводными лодками: «Если, как я имею основания полагать, мне удастся расширить атомное ядро, то это, несомненно, будет более важным событием, чем война».

Дж. П. Дункан, С. Г. Мейр. Сложные поверхности в машиностроении и медицине

SCULPTURED SURFACES IN ENGINEERING AND MEDICINE, by J. P. Duncan and S. G. Mair. Cambridge University Press (\$39.50)

КОГДА Морж из «Алисы в стране чудес» Льюиса Кэрролла решил потолковать с устрицами о башмаках, кораблях, сургучных печатях, он и не подозревал, что все эти предметы, кроме, пожалуй, сургучной печати, объединяет одно общее свойство: их физические поверхности нельзя сформировать с помощью простых механических движений, как, например, на токарном и строгальном станках. Получение деталей сложной формы из различных материалов с использованием резки, формовки, литья и пластической деформации требует предварительного изготовления матриц или шаблонов. Это может быть либо полость требуемой формы или модель, копирующая саму деталь, или даже составная форма, определяющая как внутреннюю, так и внешнюю поверхность изделия. Часто шаблоны изготавливают из прочных материалов, например стали, и с высокой точностью. До сих пор эта работа выполнялась вручную слесарями — инструментальщиками и лекальщиками, по праву считающимися самыми умелыми мастерами в современном производстве.

Профессор Дункан начал свою трудовую жизнь 40 лет назад учеником слесаря-инструментальщика; теперь же он и С. Мейр — специалист по прикладной математике и программирова-

нию, работающий вместе с ним в Университете Британской Колумбии (Канада), предлагают полностью автоматизированную технологию формирования произвольных поверхностей, способную заменить ручное изготовление шаблонов. Книга является практическим руководством для овладения этой простой и в то же время эффективной методикой, рассчитанной на использование самых распространенных и недорогих станков с программным управлением; она предназначена как для рабочих, так и для конструкторов. Одним из достоинств книги является обилие тщательно подобранных примеров.

Первым шагом нового метода, как, впрочем, и старого, является задание формы. Поверхности деталей машин, в отличие, скажем, от скульптур, зачастую можно хотя бы частично задать аналитически. Дальнейшее построение формы раньше выполнялось либо с помощью интерполяции, либо методом проб и ошибок. Так, при изготовлении моделей корпусов кораблей, фюзеляжей самолетов и кузовов автомобилей сначала делалась разметка в натуральную величину в соответствии с набором опорных точек, заданных конструктором. Затем рабочие соединяли эти точки гладкими кривыми, используя, например, тонкие гибкие планки. А скульпторы, которым приходилось создавать гораздо более разнообразные и сложные поверхности, но которые зато сами задавали себе допуски, намечали с помощью или без помощи механических приспособлений ряд опорных точек на поверхности грубо обтесанной заготовки, часто пользуясь при этом миниатюрной моделью, вылепленной вручную из какого-нибудь пластичного материала. Затем ваятель вырезал небольшую выемку вокруг каждой из уже намеченных точек и намечал новые. Постепенно появлялись все новые и новые детали и наконец производство можно было завершить простым сглаживанием шероховатостей между намеченными точками.

К 1940 г. были созданы сложные машины, способные по готовой модели воспроизвести любую сложную форму в более твердом материале. Одна из них — копирующая машина Келлера — представляла собой трехмерный фрезерный станок. К станку был подключен шуп, двигавшийся по поверхности модели, выполненной в натуральную величину. Когда этот шуп с шариком на конце слегка наклонялся на изгибах копируемой поверхности, четырехходовой микропереключатель регистрировал возникавшие при этом изменения давления и корректировал положение шупа. Движения последнего точно повторялись фрезой. Таким образом в чугунной заготовке прорезалась серия канавок, затем оставшиеся

между ними шероховатости в виде гребней заглаживались вручную. Появление копирующих машин значительно расширило возможности использования деталей сложных форм. До этого, например, лопатки турбин приходилось определять с помощью таких несложных приближений, как «объем между двумя наклонными круговыми цилиндрами, каждый из которых изготовлен продольным фрезерованием».

В основе метода Дункана и Мейра лежит созданный авторами оригинальный комплекс программ POLYHEDRAL NC, предназначенный для управления станками с числовым программным управлением, широко используемыми в последнее время для изготовления деталей различных простых форм. Компьютер задает опорные точки, а управляемый им станок действует примерно так же, как машина Келлера, но без обратной связи и образца. Основной принцип формирования поверхности предельно прост: станок вырезает под управлением компьютера сложный неправильный многогранник, похожий на волшебный бриллиант, с тысячами крошечных граней, каждая из которых проходит через одну из заданных машиной точек. Сами опорные точки определяются тремя координатами в обычной декартовой системе. Затем сферическая фреза, управляемая сложной программой, вырезает одну за другой все соответствующие грани.

Основная трудность, которую пришлось преодолеть создателям комплекса программ, заключалась в следующем. Когда сферическая фреза вырезает новую грань, она может уничтожить другие, соседние с ней и тем самым исказить нужную форму поверхности. Чтобы избежать этого, при работе используются фрезы различного радиуса. Перед началом резки компьютер определяет необходимый набор фрез для формирования заданной поверхности при заданных допусках. Понятно, что, чем больше требуемая точность, тем большим должен быть набор фрез и число граней.

Читатель, несомненно, с интересом прочтет страницы, посвященные автоматизированным оптическим средствам картографирования поверхностей и замечательным общим методам интерполяции. Авторы подробно рассматривают примеры изготовления с помощью POLYHEDRAL NC таких сложных предметов, как сапожная колодка, протез ноги, кувшин, рельефная карта одного из островов у побережья Уэльса и даже копия головы Давида работы Микеланджело. Примеры поясняются иллюстрациями. Комплекс программ рассчитан на компьютер с виртуальной памятью, но, как уверяют авторы, в ближайшее время эту работу сможет выполнять и микропроцессор.

МИРОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО ПИВА. СПРАВОЧНИК. Под редакцией Майкла Джексона

THE WORLD GUIDE TO BEER, edited by Michael Jackson. Running Press, 125, South 22 Street, Philadelphia, Pa. 19103 (\$9.95 plus 75 cents postage and handling)

ЭТОТ необычный, прекрасно оформленный справочник заинтересует всех, кто не привык отказывать себе в глотке холодного пива. Книга пестрит обилием цветных этикеток, по яркости не уступающих экзотическим цветам. Иллюстрации воспроизводят все, что связано с производством и потреблением пива: оборудование пивоваренных заводов, бутылки, пивные кружки, стаканы, бочки, рекламные плакаты, а также картины с изображением пивных и их завсегдатаев. (Среди них есть работы Эдуарда Мане и Питера Брейгеля Старшего.) Все это прекрасно дополняет текст, подробно описывающий сотни сортов пива и сопровождаемый картами и историческими экскурсами.

В основном справочник носит описательный характер, лишь в редких случаях автор позволяет себе высказать собственное мнение о том или ином сорте пива. В наши дни во всем мире принят европейский способ пивоварения. В длинном списке сортов пива, помещенного в справочнике, вы можете встретить и индийское пиво «Блэк Баид», и светлое пенящееся нигерийское пиво «Стар» и др. Неудивительно, что большая часть книги посвящена европейским сортам пива, ведь Европа стала родиной не только футбола и автоматической винтовки, но и современного пивоварения.

Великолепные иллюстрации знакомят читателя с двумя представителями растительного царства, на которых зиждется современное пивоварение: двухрядный ячмень — традиционный источник углеводов, и горький хмель; третий необходимый элемент производства пива, не отраженный в иллюстрациях, — дрожжи. В настоящее время пользуются искусственно культивируемыми одноклеточными штаммами. Ингредиенты могут варьировать: так, в Бельгии пиво варят из пшеницы и даже вишни, а в его сбраживании участвуют бактерии из воздуха.

Пшеничное пиво пользуется популярностью во многих местах, в частности к югу от Берлина до Вены. В США с их крупными пивоваренными заводами и сравнительно низким уровнем потребления пива основным источником углеводов служит смесь ячменя, риса и кукурузы. Следует отметить, что из десятка крупнейших пивоваренных заводов мира шесть находятся в США и Канаде, два в Англии, один в Японии и один в Нидерландах. В то же время на юге ФРГ имеются сотни мелких заводов.

Человек умел варить пиво уже в доисторические времена (родина ячменного пива, по-видимому, Месопотамия), еще до того как научился печь хлеб. Ячмень словно специально создан природой для производства пива, а пшеница — для выпекания хлеба (кстати, из ячменя получается плохой хлеб). При участии ферментов дрожжей образуются углекислый газ и спирт, улетающий, пока хлеб сидит в печи, однако витамины при этом сохраняются. Наиболее распространенный в наши дни сорт пива — ячменное пиво с привкусом хмеля, который впервые стали использовать в пивоварении в средние века в Богемии (хотя хмель был известен еще в античные времена).

Существуют два основных способа пивоварения. Первый из них, которым получают старинные сорта, такие, как

английский эль, состоит в том, что дрожжи плавают на поверхности сбраживаемой жидкости. Пиво, полученное таким образом, быстро портится. При втором способе дрожжи опускаются на дно и сбраживание ведут при более низкой температуре, такое пиво сохраняется в течение нескольких месяцев. Этот способ был впервые освоен в XV в. в Баварии; пиво там хранили в пещерах или обкладывали льдом. С появлением холодильников эти сорта пива, известные под общим названием Лагер (от нем. lager — хранилище), получили распространение во всем мире.

Читатель найдет в справочнике подробнейшие данные и о таких сортах пива, как эль, портер, темное немецкое пиво и др. Узнает он и о том, что большинство любителей пива предпочитают напитки типа золотого пльзеньского Лагера.

Издательство МИР предлагает:

Е. Зейболд, В. Бергер
ДНО ОКЕАНА.
Введение в морскую геологию

Перевод с английского

Книга двух известных исследователей геологии дна Мирового океана, Президента Международного союза геологических наук проф. Е. Зейболда и д-ра В. Бергера, представляет собой краткий обзор всех последних достижений мировой науки в области морской геологии. В простой и доступной форме изложены взгляды на происхождение и историю формирования структур дна Мирового океана и его континентальных окраин, рассмотрены состав, источники и различные факторы переноса осадков, распространение морских организмов, вопросы палеоокеанологии и минеральных ресурсов морского дна.

Для геологов, преподавателей, аспирантов и студентов всех геологических специальностей.

1984 г., 22 л.
Цена 3 р. 60 к.

А. Митчел, И. Гарсон
ГЛОБАЛЬНАЯ
ТЕКТОНИЧЕСКАЯ
ПОЗИЦИЯ
МИНЕРАЛЬНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Перевод с английского

Обобщающая металлогеническая работа, в которой характеристика рудных месторождений дается в связи с их тектонической позицией в соответствии с основными положениями тектоники плит. Рассматриваются принципы металлогенического анализа на основе этих новых взглядов, а также отдельные группы месторождений в зависимости от их конкретного тектонического положения: месторождения пассивных континентальных окраин, зон субдукции, зон трансформных разломов и линеаментов и т.д.

Для преподавателей, студентов, научных работников и производственников всех геологических специальностей.

1984 г., 29 л.
Цена 4 р. 65 к.



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, обсуждаются различные «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.

Содержание: 1. Начало работы. 2. Некоторые элементарные операции. 3. Полезные возможности. 4. Двуместные функции. 5. Еще пять двуместных функций. 6. Логические функции и отношения. 7. Алгоритмы, редукция и сканирование. 8. Порядок вычислений. 9. Одноместные и круговые функции. 10. Определение функций. 11. Синтаксис функций. 12. Редактирование функций. 13. Типы переменных. 14. Смена рабочих областей. 15. Управление активной рабочей областью. 16. Смешанные функции. 17. Символьные данные. 18. Смешанные функции для упорядочения и выборки. 19. Еще несколько смешанных функций. 20. Системы счисления. 21. Форматы ввода-вывода. 22. Ветвление. 23. Средства отладки. 24. Многомерные массивы. 25. Обобщенное внешнее производство. 26. Обобщенное внутреннее производство. 27. Коммерческие и инженерные задачи. 28. Ввод и вывод. 29. Введение в файлы данных. 30. Общие файлы. 31. Общие переменные. 32. Внутреннее устройство АПЛ-системы. 33. Еще о средствах и методах. Приложение. Символы АПЛ. Ответы и задачи. Основные понятия АПЛ-системы.

1979, 26, 26 л. Цена 2 р. 10 к.



ЗАНИМАТЕЛЬНЫЙ КОМПЬЮТЕР

THE SCIENCE OF SOAP FILMS AND SOAP BUBBLES. Cyril Isenberg. Tieto Ltd., 5 Elton Road, Clevedon, Avon, England, 1978.

COMPUTERS AND INTRACTABILITY: A GUIDE TO THE THEORY OF NP COMPLETENESS. Michael R. Garey and David S. Johnson. W.H. Freeman and Company, 1979.

ПОДВИЖНЫЕ ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ КУКУРУЗЫ

CHROMOSOME ORGANIZATION AND GENIC EXPRESSION. Barbara McClintock in *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, Vol.16, pages 13—47; 1951.

THE CONTROL OF GENE ACTION IN MAIZE. Barbara McClintock in *Brookhaven Symposia in Biology*, Vol.18, pages 162—184; 1965.

CONTROLLING ELEMENTS IN MAIZE. Nina V. Fedoroff in *Mobile Genetic Elements*, edited by James A. Shapiro. Academic Press, 1983.

ISOLATION OF THE TRANSPOSABLE MAIZE CONTROLLING ELEMENTS AC AND DS. N. Fedoroff, S. Wessler and S. Shure in *Cell*, Vol. 35, No.11, pages 235—242; November, 1983.

ПОКРЫТИЕ МЕТАЛЛОВ ЗОЛОТОМ И СЕРЕБРОМ В ДОКОЛУМБОВОЙ АМЕРИКЕ

PRE-COLUMBIAN METALLURGY OF SOUTH AMERICA. Edited by Elizabeth P. Benson. Dumbarton Oaks Research Library and Collections, Trustees for Harvard University, 1979.

A PRE-COLUMBIAN TECHNIQUE FOR ELECTROCHEMICAL REPLACEMENT PLATING OF GOLD AND SILVER ON COPPER OBJECTS. Heather Lechtman in *Journal of Metals*, Vol. 31, No. 12, pages 154—160; December, 1979.

ANDEAN VALUE SYSTEMS AND THE DEVELOPMENT OF PREHISTORIC METALLURGY. Heather Lechtman in *Technology and Culture*, Vol. 25, No. 1, pages 1—36; January, 1984.

МАССОВЫЕ ВЫМИРАНИЯ В ОКЕАНЕ

CRISES IN THE HISTORY OF LIFE. Norman D. Newell in *Scientific American*, Vol. 208, No. 2, pages 76—92; February, 1963.

THE GREAT INFRA-CAMBRIAN ICE AGE. W. Brian Harland and Martin J.S. Rudwick in *Scientific American*, Vol. 211, No. 2, pages 28—36; August, 1964.

THE WINTERS OF THE WORLD: EARTH UNDER THE ICE AGES. Edited by Brian S. John. John Wiley and Sons, Inc., 1979.

GEOLOGICAL IMPLICATIONS OF IMPACTS OF LARGE ASTEROIDS AND COMETS ON THE EARTH. L.T. Silver and P.H. Schultz, Geological Society of America Special Paper 190, 1982.

Монин А.С., Шишков Ю.А. ИСТОРИЯ КЛИМАТА. — Л.: Гидрометеониздат, 1979.

Резанов Н.И. КАТАСТРОФИЧЕСКИЕ СОБЫТИЯ В ИСТОРИИ ЗЕМЛИ. — М.: Наука, 1984.

ГРУДНОЕ ВСКАРМЛИВАНИЕ

GROWTH OF THE EXCLUSIVELY BREAST-FED INFANT. Chung Hae Ahn and William C. MacLean in *The American Journal of Clinical Medicine*, Vol. 33, No. 2, pages 183—192; February, 1980.

INTERNATIONAL CODE OF MARKETING AND BREAST-MILK SUBSTITUTES. World Health Organization, 1981.

BREAST-MILK PRODUCTION IN AUSTRALIAN WOMEN. S. Rattigan, Ann V. Ghisalberti and P.E. Hartmann in *The British Journal of Nutrition*, Vol. 45, No. 2, pages 243—249; March, 1981.

BREAST-FEEDING, FERTILITY, AND FAMILY PLANNING. *Population Reports, Series J.*, Vol. 9, No. 24, pages J525—J575; November-December, 1981.

НЕСОХРАНЕНИЕ ЧЕТНОСТИ В АТОМНЫХ СИСТЕМАХ

PARITY NONCONSERVATION IN ATOMS: STATUS OF THEORY AND EXPERIMENT. E.N. Fortson and L. Willets in *Advances in Atomic and Molecular Physics*, Vol. 16, pages 319—371; 1980.

OBSERVATION OF A PARITY VIOLATION IN CESIUM. M.A. Bouchiat, J. Guena, L. Hunter and L. Pottier in *Physics Letters*, Vol. 117B, No. 5, pages 358—364; November 18, 1982.

Хриплович И.Б. Несохранение четности можно наблюдать в макроскопических процессах. — Природа, 1978, №1, с. 22.

Хриплович И.Б. Несохранение четности в атомных явлениях. Серия «Современные проблемы физики». — М.: Наука, 1981.

АКУСТИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ СИГНАЛЫ В ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ ЖУКА

SOUND PRODUCTION IN SCOLYTIDAE: FEMALE SONIC STIMULUS OF MALE PHEROMONE RELEASE IN TWO *DENDROTONUS* BEETLES. J.A. Rudinsky, L.C. Ryker, R.R. Michael, L.M. Libbey and

Вниманию читателей

Издательство «Мир» имеет 12 магазинов — опорных пунктов, в которых вы можете оформить предварительный заказ или приобрести уже выпущенные в свет книги. Их адреса:

480064 Алма-Ата,
пр. Абая, 35,
магазин «Прогресс»

232000 Вильнюс,
просп. Ленина, 29,
магазин «Техника»

603003 Горький,
ул. Горького, 156,
магазин № 29 «Наука»

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

250001 Киев,
Крещатик, 44,
магазин № 12

660036 Красноярск,
Академгородок,
магазин № 101

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

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

630091 Новосибирск,
Красный просп., 60,
магазин № 7
«Техническая книга»

440605 Пенза,
просп. Победы, 4,
магазин № 1

620014 Свердловск,
ул. Малышева, 31-а,
магазин № 8
«Техническая книга»

634034 Томск,
ул. Нахимова, 15/1,
магазин № 15



M.E. Morgan in *Journal of Insect Physiology*, Vol. 22, pages 1675—1681; 1976.

SOUND PRODUCTION IN SCOLYTIDAE: RIVALRY AND PREMATING STRIDULATION OF MALE DOUGLAS-FIR BEETLE. J.A. Rudinsky and Lee C. Ryker in *Journal of Insect Physiology*, Vol. 22, pages 997—1003; 1976.

MULTIFUNCTIONALITY OF DOUGLAS-FIR BEETLE PHEROMONE 3,2-MCH CONFIRMED WITH SOLVENT DIBYTYL PHTHALATE. J.A. Rudinsky and L.C. Ryker in *Journal of Chemical Ecology*, Vol. 6, pages 193—201; 1980.

NATURAL SELECTION AND COMMUNICATION AMONG BARK BEETLES. John Alcock in *Florida Entomologist*, Vol. 65, No. 1, pages 17—32; March, 1981.

AGGREGATION PHEROMONES. J.H. Borden in *Bark Beetles in North American Conifers: A System for the Study of Evolutionary Biology*, edited by Jeffrey B. Mitton and Karen B. Sturgeon. University of Texas Press, 1982.

1-METHYLCYCLOHEX-2-EN-1-OL AS AN AGGREGATION PHEROMONE OF *DENDROCTONUS PSEUDOTSUGAE*. L.M. Libbey, A.C. Oehlschlager and L.C. Ryker in *Journal of Chemical Ecology*, Vol. 9, pages 1533—1541; 1983.

Жантиев Р.Д. БИОАКУСТИКА НАСЕКОМЫХ, — Изд-во Моск. ун-та, 1981, 256 с.

Лебедева К.В., Миняйло В.П., Пятнова Ю.Б. ФЕРОМОНЫ НАСЕКОМЫХ. — М.: Наука, 1984.

МЕЖЗВЕЗДНАЯ ПЫЛЬ: СТРОЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ

COSMIC DUST. Edited by J.A.M. McDonnell. John Wiley and Sons, Inc., 1978.

DUST IN DENSE CLOUDS: ONE STAGE IN A CYCLE. J. Mayo Greenberg in *Submillimetre Wave Astronomy*, edited by J.E. Beckman and J.P. Phillips. Cambridge University Press, 1982.

GIANT MOLECULAR-CLOUD COMPLEXES IN THE GALAXY. Leo Blitz in *Scientific American*, Vol. 246, No. 4, pages 72—80; April, 1982.

ENERGETIC OUTFLOWS FROM YOUNG STARS. Charles J. Lada in *Scientific American*, Vol. 247, No. 1, pages 74—83; July, 1982.

ICES IN SPACE. J. Mayo Greenberg, C.E.P.M. van de Bult and L.J. Allamandola in *Journal of Physical Chemistry*, Vol. 87, pages 4243—4260; 1983.

БОЛТЫ И ГАЙКИ

GUIDE TO DESIGN CRITERIA FOR BOLTED AND RIVETED JOINTS. J.W. Fisher and J.H.A. Struik. John Wiley and Sons, Inc., 1974.

THE HERITAGE OF MECHANICAL FASTENERS. Industrial Fasteners Institute, 1974.

STANDARD HANDBOOK OF FASTENING AND JOINING. Edited by Robert O. Parmelee. McGraw-Hill Book Company, 1977.

Якушев А.И. и др. ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ. — М.: Машиностроение, 1979.

Мокринский В.И. ПРОИЗВОДСТВО БОЛТОВ ХОЛОДНОЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКОЙ. Под. ред. А.М. Павлова. — М.: Металлургия, 1978.

НАУКА ВОКРУГ НАС

THE HEAT PIPE. G. Yale Eastman in *Scientific American*, Vol. 218, No. 5, pages 38—46; May, 1968.

EXPERIMENT IN THE BRAGG REFLECTION OF LIGHT FOR THE UNDERGRADUATE USING CHOLESTERIC LIQUID CRYSTALS. A. Olah and J.W. Doane in *American Journal of Physics*, Vol. 45, No. 5, pages 485—488; May, 1977.

В МИРЕ НАУКИ

Подписано в печать 18.07.84.
По оригинал-макету. Формат 60 × 90 1/4.

Гарнитуры таймс, гелиос.

Офсетная печать.

Объем 6,50 бум. л.

Усл.-печ. л. 13,00.

Уч.-изд. л. 17,53.

Усл. кр.-отт. 41,36.

Изд. № 36/3478. Заказ 527.

Тираж 20000 экз. Цена 2 р.

Издательство «Мир»

Набрано в редакции по подготовке оригинал-макетов издательства «Мир» на фотонаборном комплексе «Компьютерграфик»

Типография В/О «Внешторгиздат»
Государственного комитета СССР
по делам издательств,
полиграфии и книжной торговли.
127576, Москва, 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.

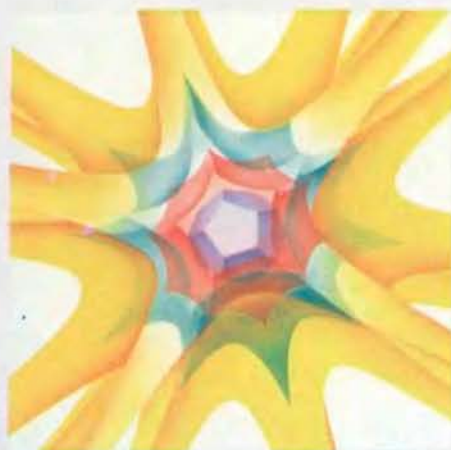
Для разработчиков математического обеспечения ЭВМ и программистов различной квалификации.

1979, 26,26 л.

Цена 2 р. 10 к.



В следующем номере:



МАТЕМАТИКА ТРЕХМЕРНЫХ МНОГООБРАЗИЙ

БЕЗДОМНЫЕ В США

ПОДВОДНЫЙ ВУЛКАНИЗМ

ИММУНОТОКСИНЫ

МЕХАНИКА ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА У РЫБ

СИМБИОТИЧЕСКИЕ ЗВЕЗДЫ

ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ
ОБРАБОТКИ МНОГОЯЗЫЧНЫХ ТЕКСТОВ

СРЕДНЕВЕКОВЫЕ КОРНИ ПРОМЫШЛЕННОЙ РЕВОЛЮЦИИ

ЗАГАДКИ КОЛОКОЛЬНОГО ЗВОНА

ЗАНИМАТЕЛЬНЫЙ КОМПЬЮТЕР:
ПРОГРАММА, ИГРАЮЩАЯ В ШАШКИ