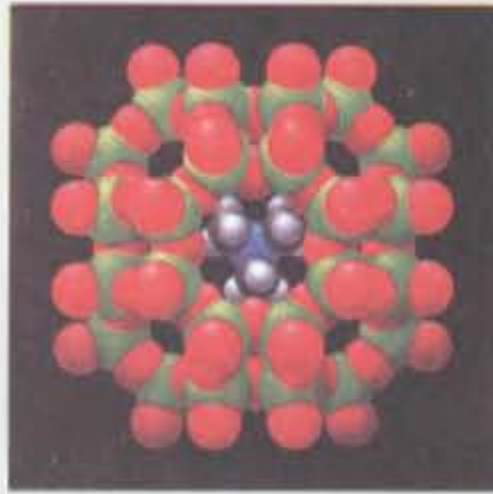


В следующем номере:



ТВЕРДЫЕ КИСЛОТНЫЕ КАТАЛИЗАТОРЫ

ГДЕ ВОЗНИК ЧЕЛОВЕК СОВРЕМЕННОГО ТИПА?

МУЛЬТИРЕГИОНАЛЬНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

ГОРНЫЕ ПОЯСА И СУПЕРКОНТИНЕНТАЛЬНЫЙ ЦИКЛ

СУПЕРАНТИГЕНЫ И БОЛЕЗНИ ЧЕЛОВЕКА

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ТЕРМОЯДЕРНЫЙ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ РЕАКТОР

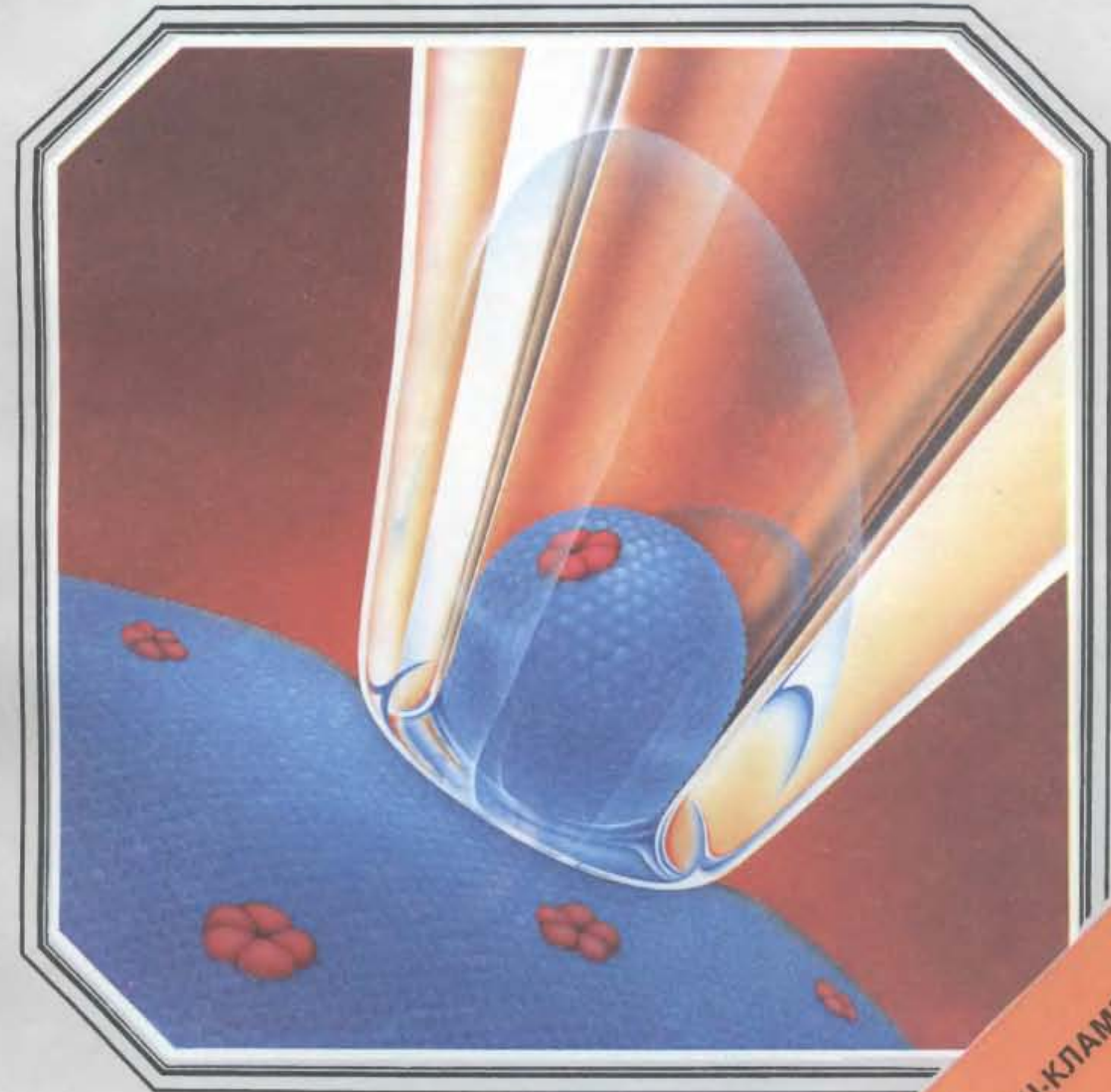
ФАНТОМНЫЕ КОНЕЧНОСТИ

РАЗРЕЗАНИЕ ГЕНОМА

В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN

Издание на русском языке



Май **5** 1992

МЕТОД ПЭТЧ-КЛАМП

РОССИЙСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

ПОЛУЧЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО АЛМАЗА ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Центром впервые разработана технология пленок искусственного алмаза при низком давлении и низкой температуре с помощью ионного распыления чистого графита. Способ универсальный и, кроме того, позволяет получать пленки из любых металлов, окислов, нитридов, и т. д.

ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ТЕХНОЛОГИИ:

- высокая прочность и твердость искусственного алмаза покрытий (в 2-3 раза выше показателей натурального алмаза);
- отсутствие нагрева изделия в процессе нанесения покрытия;
- сохранение высокого класса чистоты поверхности изделия после нанесения защитного покрытия;
- получение сверхтонких (0,3—1 нм) сплошных пленок;
- отсутствие принципиальных ограничений на габариты изделия (до поверхности в несколько м²).

Алмазные покрытия могут быть использованы для защиты и упрочнения поверхности изделий из металлов, керамики, пластмасс, стекла, что обеспечивает увеличение сроков их службы в 5-10 раз.

Опытное и промышленное использование технологии в производстве газодинамических опор приборов, окон рентгеновских счетчиков, магнитных дисков с плотностью записи 10⁷ бит/см²; новых элементов памяти (нано-диск) на нанотехнологии с плотностью записи 10¹² бит/см²; скальпелей и микроскальпелей, ножей дермотомов, мерительного инструмента, калибров, зеркал технологических лазеров, быстроизнашивающихся деталей текстильного оборудования — полностью подтвердило ее высокую эффективность.

Оригинальная технология защищена авторскими свидетельствами внутри страны и патентована в США, Великобритании, Германии, Японии, Швейцарии и Франции. Технология включает в себя элемент «ноу-хау», который является ее ключевым звеном.

Разработчик предлагает заинтересованным производителям исполнение заказов по нанесению пленок искусственного алмаза на собственных полупромышленных установках.

РНЦ «Курчатовский институт» приглашает отечественные и зарубежные предприятия к сотрудничеству в создании совместных производств по выпуску продукции с использованием пленок искусственного алмаза.

С предложениями обращаться:

123182, г. Москва
пл. Курчатова
«РОССИЙСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

Телекс: 411594 ШУГА
Телефон: 196 92 48
Телефакс: (095) 196 45 88

Спонсор рекламы — Торговый Дом «Отрадное»

В МИРЕ НАУКИ

Scientific American · Издание на русском языке

ИЛЛЮСТРИРОВАННЫЙ ЖУРНАЛ

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

МОСКВА «МИР»

№ 5 МАЙ 1992

В номере:

(Scientific American, March 1992, Vol. 266, No. 3)

6 Польша на пути к рыночной экономике

Джеффри Сакс

Как трансформировать экономику, бывшую прежде централизованной? Опыт Польши в этом направлении может служить уроком для других стран Восточной Европы и является вызовом для Запада

СТАТЬИ



16 Метод пэтч-кламп

Эрвин Неер, Берт Сакман

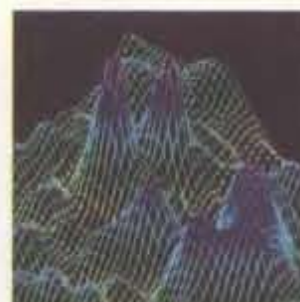
Этот простой метод позволяет легко выделять ионные каналы из клеточных мембран. Его разработчики, удостоенные Нобелевской премии, рассказывают о возможностях такого подхода для изучения сигнальных систем клеток



28 Текстуры и строение Вселенной

Дейвид Н. Спергел, Нейл Дж. Турок

Физика элементарных частиц дает новый ключ к разгадке происхождения структуры Вселенной. Авторы статьи предполагают, что дефекты первичного поля, называемые текстурами, послужили зародышами галактик и их скоплений



38 Почему устойчивы ароматические соединения?

Джун-ити Аихара

Молекулы, содержащие бензолподобные кольца, не изменяются в течение геологического времени и даже существуют в суровых условиях туманностей. В настоящее время ученые могут математически описать причины такой исключительно высокой устойчивости





46 Паучьи сети и шелк

Фриц Фольрат

Шелк и конструкция паутины подчиняются тем же правилам и ограничениям, которые действуют в «человеческом» материаловедении и строительной инженерии. Возможно, нам есть чему поучиться у пауков



56 Инфракрасные видеокамеры

Джерри Силверман, Джонатан М. Муни, Фриман Д. Шеперд

Эти устройства, похожие на обычные видеокамеры, способны «видеть» тепловое излучение. Новая инфракрасная техника может иметь множество применений, включая ночное видение и визуализацию тепловых потоков, а также использоваться в медицине



64 Котел из Гундеструпа

Тимоти Тейлор

Загадочная чаша, найденная 100 лет назад в Дании, приписывалась сначала кельтам, потом германцам и фракийцам. Недавний анализ подвергает сомнению эти предположения и основанные на них теории



72 Тенденции развития астрофизики

В поисках волн

Рассел Рутен

Ученые надеются исследовать природу тяготения и передовые рубежи Вселенной, регистрируя гравитационные волны. Правительство США обещало им выделить 211 млн. долл. на создание двух детекторов километровых масштабов. Ждет ли их успех?

РУБРИКИ

4 Об авторах

5 50 и 100 лет назад

14, 24, 36, 45, 53, 62, 70, 83,

86, 90 Наука и общество

84 Наука вокруг нас

88 Книги

94 Эссе

95 Библиография

SCIENTIFIC AMERICAN

Jonathan Piel

EDITOR

John J. Moeling, Jr

PUBLISHER

BOARD OF EDITORS

Alan Hall, Michelle Press

Timothy M. Beardsley

Elizabeth Corcoran

Deborah Erickson

Marguerite Holloway

John Horgan

Philip Morrison (BOOK EDITOR)

Corey S. Powell

John Rennie, Philip E. Ross

Ricki L. Rusting, Russell Ruthen

Gary Stix, Paul Wallich

Philip M. Yam

Joan Starwood

ART DIRECTOR

Richard Sasso

VICE-PRESIDENT

PRODUCTION AND DISTRIBUTION

SCIENTIFIC AMERICAN, INC.

Claus-Gerhard Firchow

PRESIDENT AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER

Dr. Pierre Gerckens

CHAIRMAN OF THE BOARD

Gerard Piel

CHAIRMAN EMERITUS

© 1992 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, А. В. Белых

литературный редактор

О. В. Мошкова

художественный редактор

С. К. Аносов

руководитель группы фотонабора

В. С. Галкин

технический редактор

А. В. Лыткина

корректор

Р. Л. Вибке

оформление обложки русского издания

М. Г. Жуков

шрифтовые работы

В. В. Ефимов

адрес редакции

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

телефон редакции

286.2588

© перевод на русский язык и оформление, «Мир», 1992

На обложке



МЕТОД ПЭТЧ-КЛАМП

Рисунок на обложке иллюстрирует метод пэтч-кламп, состоящий в том, что с помощью микроскопически тонкой стеклянной пипетки захватываются белки, погруженные в мембрану живой клетки. Давно высказывалось предположение, что белки, формирующие своего рода поры, или каналы в клеточной мембране, управляют трансмембранными потоками ионов и таким образом участвуют в генерации нервных импульсов, регуляции секреции и других процессах. Только с появлением метода пэтч-кламп стало возможным изучение функций отдельных молекул в ионных каналах. (См. статью Э. Неера и Б. Сакмана «Метод пэтч-кламп» на с. 16.)

Иллюстрации

ОБЛОЖКА: рисунок Tomo Narashima

СТР.	АВТОРИСТОЧНИК	СТР.	АВТОРИСТОЧНИК	СТР.	АВТОРИСТОЧНИК
7	Christopher Piltz/Matrix	Donald Edmonds, University of Oxford	68	Arts, Copenhagen National Museum, Copenhagen	
9	Chris Niedenthal/Sigma	Brent Opell, Virginia Polytechnic Institute		(слева), National Museum of India	
10	Paula Allen/Matrix	(верхний снизу), Hans Peters, University of Tübingen	69	National Museum, Copenhagen	
17	Bert Sakmann	(нижний снизу)		(верх), Timothy Taylor	
18—22	Dana Burns-Pizer			(внизу слева), Scala/Art	
23	Julio M. Fernandes, Mayo Foundation	56, 57	Jerry Silverman	Resource (внизу в центре), British Museum	
	(слева), W. Almers, University of Washington	58	Jerry Silverman	(внизу справа)	
	(справа)	59	Jerry Silverman	George Retseck	
28, 29	George R. Efstathiou, Department of Astrophysics of University of Oxford	60	Jerry Silverman (верх), Kitt Peak National Observatory	72—74	John Long; courtesy of Peter Michelson, Stanford University
	(внизу)	61	Jerry Silverman	75	George Retseck
30, 31	Michael Goodman	64	Timothy Taylor (слева), National Museum, Copenhagen	76, 77	Ken Rogers; Black Star
32, 33	David N. Spergel, Neil G. Turok	65	National Museum, Copenhagen;	78	Erik Leigh Simmons
34	Marc Skinner	66	Joe Lemonnier; вставки (по часовой стрелке слева); National Museum, Copenhagen; Mikhail Rostovtseff;		Long Photography (внизу справа)
35	David N. Spergel, Neil G. Turok		British Museum (фото: Timothy Taylor); National Museum, Sophia; Society of Antiquaries, London	79	George Retseck (слева), Alex Abramovici, California Institute of Technology
39	IBM Almaden Research Center		(справа)	80	Max Planck Institute for Quantum Physics, Garching
42	Anglo-Australian Telescope Board			81	Ray Idaszak and Donna Cox, National Center for Supercomputing Applications
46	From <i>Charlotte's Web</i> , by E.B. White, © 1952, 1980 E.B. White; illustrations © Garth Williams			85	Barron Storey
47	Fritz Vollrath				
48, 49	Ian Worpole	67	Erling Benner		
50, 51	Patricia J. Wynne		Larsen, Royal Academy of Fine		
52	Fritz Vollrath,				

Jeffrey Sachs "Building a Market Economy in Poland" (ДЖЕФФРИ САКС "Польша на пути к рыночной экономике"), экономический советник при правительствах нескольких государств в Южной Америке и Восточной Европе, один из архитекторов программы экономического преобразования в Польше. В период с 1986 по 1990 г. он помогал в разработке и практическом осуществлении программы стабилизации экономического положения в Боливии, где эта программа позволила снизить темпы ежегодной инфляции с 40000 до 15%. В настоящее время Сакс возглавляет группу экономических советников при президенте России Б.Н. Ельцине. Образование получил в Гарвардском университете, где он сейчас работает на кафедре международной торговли.

Erwin Neher, Bert Sakmann "The Patch Clamp Technique" (ЭРВИН НЕЕР, БЕРТ САКМАН "Метод пэч-кламп") — в 1991 г. удостоены Нобелевской премии по физиологии и медицине за описание функционирования одиночных ионных каналов с помощью метода пэч-кламп. Неер возглавляет отдел биофизики мембраны в Институте биофизической химии им. Макса Планка в Геттингене. До 1965 г. изучал физику в Технологическом институте в Мюнхене; в 1967 г. получил степень магистра в этой области в Висконсинском университете, где был фулбрайтовским стипендиатом. Затем вернулся в Технологический институт и в 1970 г. там ему присвоили докторскую степень. Работал по приглашению в Йельском университете и в Калифорнийском технологическом институте. Является членом-корреспондентом Баварской академии наук и иностранным членом Национальной академии наук США. Сакман руководит отделом клеточной физиологии в Институте медицинских исследований им. Макса Планка в Гейдельберге, сотрудником которого является с 1989 г. До этого работал в Институте им. Макса Планка в Геттингене. Имеет степень доктора медицины, присвоенную ему в Мюнхенском университете в 1969 г. В 1970—73 гг., будучи стипендиатом Британского совета, изучал биофизику у нобелевского лауреата Б. Катца.

David N. Spergel, Neil G. Turok "Textures and Cosmic Structure" (ДЕЙВИД Н. СПЕРГЕЛ, НЕЙЛ ДЖ. ТУРОК "Текстуры и строение Вселенной") в течение двух лет сотрудничают в области теории происхождения структуры Все-

ленной из текстур. Спергел получил степень доктора философии в области астрономии в 1985 г. В 1987 г. он поступил на работу в Принстонский университет, где занимает должность ассистента профессора астрофизики. Его исследования посвящены строению галактик и темному веществу. Турок получил степень доктора философии в области физики элементарных частиц в 1983 г. в Импириал-Колледже в Лондоне. В 1987 г. он перешел в Принстонский университет на должность доцента физики. Область его научных интересов — крупномасштабная структура Вселенной, происхождение материи и фазовые переходы в ранней Вселенной.

Jun-ichi Aihara "Why Aromatic Compounds Are Stable" (ДЖУН-ИТИ АИХАРА "Почему устойчивы ароматические соединения?" — профессор химии Университета Сидзуока в Японии. Степень доктора философии получил в 1970 г. в Токийском университете и до 1981 г. работал на химическом факультете Хоккайдского университета в Саппоро. В область его научных интересов входят электронные структуры органических молекул, механизмы образования межзвездной пыли и происхождение жизни на Земле. Эта статья является переложением материала, опубликованного в журнале "Saiensu" — японском издании "Scientific American".

Fritz Vollrath "Spider Webs and Silk" (ФРИЦ ФОЛЬРАТ "Паучные сети и шелк") — преподаватель Зоологического института Базельского университета (Швейцария), ведет также исследовательскую работу на кафедре зоологии Оксфордского университета. После изучения экологии общественных и клептопаразитических пауков в Смитсоновском институте по исследованию тропиков в Панаме он заинтересовался эволюцией тенет пауков, особенно кругопрядов, и начал изучать их конструкцию и действие.

Jerry Silverman, Jonathan M. Mooney, Freeman D. Shepherd "Infrared Video Cameras" (ДЖЕРРИ СИЛВЕРМАН ДЖОНАТАН М. МУНИ, ФРИМАН ШЕПЕРД "Инфракрасные видеокамеры") работают в Лаборатории ВВС на базе Ханском в штате Массачусетс. Силверман из отдела инфракрасной техники получил степень бакалавра в Бруклин-Колледже в 1956 г., а докторскую степень в области физической хи-

мии в Массачусетском технологическом институте (МТИ) четырьмя годами позже. Сконцентрировал свои исследования на прикладной физике и обработке изображений в инфракрасных камерах с датчиками на основе барьера Шотки. Муни получил степень бакалавра физики в Калифорнийском университете в Сан-Диего в 1981 г., а докторскую степень в области оптики в Аризонском университете в 1986 г. Занимается проблемами повышения качества инфракрасных изображений с использованием мозаичных детекторных матриц. Шеперд является старшим научным сотрудником ВВС США, специалистом по инфракрасным датчикам и матрицам. Получил степени бакалавра и магистра в области электротехники в МТИ в 1959 г., а докторскую степень в Северо-восточном университете в 1965 г.

Timothy Taylor "The Gunderstrup Cauldron" (ТИМОТИ ТЕЙЛОР "Котел из Гундеструпа") преподает на кафедре археологии Бредфордского университета и является помощником редактора бюллетеня "Antiquity". Изучал археологию и антропологию в Колледже св. Иоанна Кембриджского университета, после окончания которого в 1982 г. занимался научной работой в Болгарии и Оксфорде. В 1988 г. вернулся в Кембридж в качестве младшего научного сотрудника Королевского колледжа. С 1990 г. работает в Бредфорде.

Donald G. Mooney "The Amateur Scientist" (ДОНАЛД ДЖ. МУНИ "Наука вокруг нас") — старший конструктор оптических приборов в фирме Rockwell International. Последние 30 лет занимался разработкой инфракрасных систем. Его первым техническим заданием было создание оптической системы для космического корабля "Аполлон". Он — отец Джонатана Муни, одного из авторов статьи "Инфракрасные видеокамеры" на с.56.

Kenneth H. Mayer, Charles C.J. Carpenter "Essay: Women and AIDS" (КЕННЕТ Х. МЕЙЕР, ЧАРЛЗ К. ДЖ. КАРПЕНТЕР "Эссе: женщины и СПИД"). Руководят программой по СПИДУ в Университете Брауна; Мейер — ее директор, Карпентер его заместитель. Кроме того, Карпентер профессор медицины в этом университете, а Мейер заведует инфекционным отделением Род-Айлендской мемориальной больницы.



МАРТ 1942 г. «Хотя сегодня и не является новостью то, что в военном производстве используются различные материалы, предназначавшиеся для гражданских целей, представляется излишним упомянуть здесь о некоторых аспектах, которые повлияют на будущее этого журнала. Цвет бумаги, на которой будет печататься журнал, станет желтоватым. Это объясняется ограничениями на использование хлора на гражданские нужды. (С помощью хлора осуществляется отбеливание пульпы, из которой делается бумага.) Кроме того, как вы уже заметили, номер журнала, который вы сейчас держите в руках, напечатан шрифтом, отличным от шрифта предыдущих номеров. Этот новый шрифт — при том, что он такой же четкий, как предыдущий, — обладает несколько большей компактностью. Благодаря этому можно печатать на одной странице приблизительно на 10% текста больше».

«Известно, что человеческий глаз автоматически фокусируется на объектах, расстояние до которых меняется. Инженеры-оптики до недавних пор с недоверием относились к предложениям достигнуть этого в фотообъективе. Однако фирмой Vausch and Lome уже разработан четырехлинзовый объектив, в котором одна двояко-вогнутая линза колеблется по своей оси. Амплитуда колебаний этой линзы ограничена тремя десятками миллиметра, они происходят с частотой 23 200 раз в минуту, вследствие чего фокусное расстояние непрерывно меняется. В результате все объекты на расстоянии от четырех футов до бесконечности имеют одинаковую четкость. И хотя все они получаются несколько более размытыми, чем при использовании обычных объективов, многие фотографы считают такую конструкцию шагом вперед».

«Бишофф, один из ведущих анатомов Европы, преуспевал лет 70 тому назад. Он занимался тщательными измерениями человеческого мозга и после того, как в течение многих лет им было накоплено большое количество данных, сделал следующее заключение: средний вес мозга мужчины составляет 1350 г., а мозга женщины — 1250 г. Это, как он утверждал, как раз и является неопровержимым доказательством умственного пре-

восходства мужчин над женщинами. На протяжении всей своей жизни он отстаивал эту гипотезу с убежденностью фанатика. Будучи истинным ученым, он указал в своем завещании, чтобы его собственный мозг был приобщен к его впечатляющей коллекции. После вскрытия трупа ученого был выявлен интересный факт: его собственный мозг весил всего лишь 1245 г.»



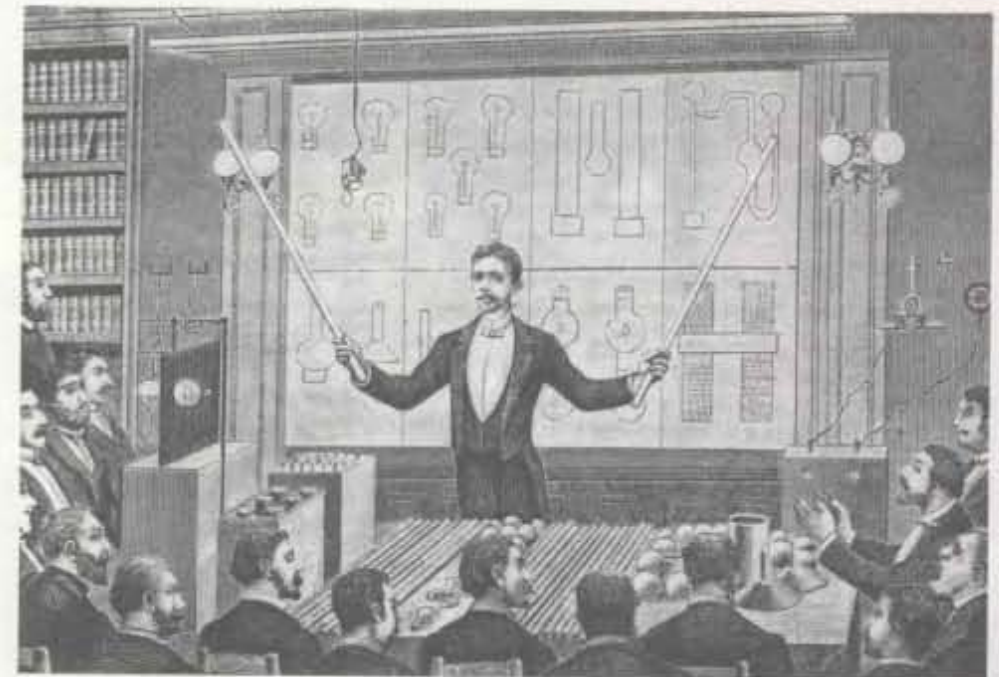
МАРТ 1892 г. «Сжатый воздух является, возможно, главным соперником электричества в передаче мощности. В настоящее время он используется в основном в шахтах, где все еще весьма успешно соперничает с электричеством, однако он будет, вероятно, постепенно им заменяться. В Париже имеется большая центральная станция для распределения сжатого воздуха, и она весьма успешно работает. Из доклада профессора Анвина явствует, что передача мощности посредством сжатого воздуха практически до расстояний по меньшей мере в 20 миль. Очевидно, что мощность в 10000 л.с. можно передавать на 20 миль по трубопроводу диаметром 30 дюймов при пропускной способности 132,3 фунта/дюйм² с потерями давления всего лишь 12%».

«Если вы возьмете хороший проводник, такой, например, как медь, и понизите его температуру, то его сопротивление при достижении очень

низких температур почти исчезнет. При температуре в сотни градусов ниже нуля медь является почти идеальным проводником. Если же вы будете нагревать медь, то ее сопротивление станет повышаться. Теперь давайте возьмем стекло — хороший изолятор — или любой другой изолирующий материал и повысим его температуру: материал потеряет свою изолирующую способность и, если мы будем повышать температуру до тех пор, пока не раскалим докрасна, то он приблизится к состоянию проводника. Следовательно, все вещества являются проводниками, когда они достаточно нагреты».

«Вопрос: что за сила препятствует разрушению нижнего ряда кирпичной кладки в наших больших зданиях в результате действия на него сверху огромного веса? Ответ: Один красный кирпич обычного сорта при правильной его укладке в сильный цемент способен выдерживать нагрузку в 12 т, и для разрушения нижнего ряда кладки из такого кирпича потребуются стена высотой около 10000 футов».

«Г-н Никола Тесла закончил свою лекцию несколькими опытами по созданию свечения в трубках с разреженными газами без применения каких-либо проводов или электродов. Трубки помещались в переменное электрическое поле, образованное между одним из изолированных полюсов катушки и изолированной металлической пластиной, установленной над экспериментатором и соединенной с другим полюсом катушки. На рисунке показан один из таких опытов, в котором г-н Тесла создает свечение сразу в двух трубках».



Г-н Тесла читает лекцию в Париже

Польша на пути к рыночной экономике

Как трансформировать экономику, бывшую прежде централизованной? Опыт Польши в этом направлении может служить уроком для других стран Восточной Европы и является вызовом для Запада

ДЖЕФФРИ САКС

ЗА ДВА последних года страны Восточной Европы отказались от экономической системы, основанной на государственном монополизме и централизованном управлении производством и регулировании цен. Вместо нее они надеются создать свободную рыночную экономику, подобную той, которая в послевоенный период обеспечила заметное процветание Западной Европе. Как же осуществить такой переход?

Перестройка, происходящая в восточноевропейских странах, стала возможной благодаря демократическим революциям, положившим конец коммунистическому правлению. Но изменения в экономике отражают более глубокие явления, чем просто политические преобразования. К 1989 г. порочные стимулы, к которым прибегал коммунистический режим, привели почти к полному экономическому краху. Государственные чиновники наращивали мощностные тяжелой индустрии с ее отсталой технологией до неоправданных размеров, игнорируя развитие производства товаров широкого потребления и сферы услуг. Стремление к расширению промышленного производства любой ценой привело к тому, что разрушение окружающей среды достигло более высокой степени по сравнению с той, которая на Западе породила массовые движения за охрану природы. Средний чех, поляк или венгр удовлетворен (хотя это и не совсем подходящее слово) уровнем жизни значительно более низким, чем житель даже относительно бедной страны Западной Европы, и его благосостояние не лучше, чем у жителя какой-нибудь развивающейся страны Латинской Америки.

Хотя граждане восточноевропейских стран хотят пользоваться благами рыночной экономики, национальным лидерам по-прежнему приходится решать политические и материально-технические проблемы, обеспечивающие проведение реформ. Со-

стоявшиеся осенью прошлого года парламентские выборы в Польше, например, показывают, что в период экономического переустройства у людей наступает предел их терпения и они перестают мириться с безработицей и снижением реальной заработной платы. (Архитекторы перестройки в других странах и в другие периоды, как, скажем, авторы экономического чуда в послевоенной Германии, также широко критиковались в первые годы за якобы чинимый ими беспорядок.) В то же время приватизация государственных предприятий при их огромном числе — это задача огромная по своим масштабам.

Существенную роль в преобразованиях должна сыграть западная помощь. И не только потому, что потребуются огромные средства для модернизации промышленности с ее изношенным оборудованием и для обновления облика разрушающихся городов, но и потому, что Запад должен осознать, что страны с новой свободной экономикой, если им удастся ее создать, включатся в систему европейской и мировой торговли. Провал этих реформ может угрожать не только экономическому благополучию Восточной Европы, но и нарождающейся в ней демократии.

Я имел самое непосредственное отношение к перестроечным процессам в Польше. Ее экономическое положение по всеобщему признанию является одним из наиболее тяжелых в Восточной Европе. Сектор тяжелой индустрии в Польше разросся до невероятных масштабов, он неэффективен и совершенно не конкурентоспособен на мировом рынке. Легкая промышленность, сфера услуг и распределения находятся в запущенном состоянии, равно как и финансовая система страны. Основу сельскохозяйственного сектора составляют миллионы малоимущих крестьянских фермеров. Они обрабатывают кро-

шечные земельные участки, обычно не более пяти гектар.

Чтобы исправить это положение, страна намеревается ввести у себя политическую и экономическую систему, подобную тем, которые имеются в странах Европейского сообщества. Ее основная цель, равно как и всех других стран бывшего советского блока, заключается в достижении самой тесной интеграции со странами Западной Европы. К концу нынешнего — началу следующего столетия этот курс должен привести их к полноправному членству в Европейском сообществе. Здесь не должно быть никакого «третьего пути» — сочетания прежнего принципа социалистической собственности с рыночным механизмом взамен централизованного планирования, к которому кто призывает, видя в этом некий компромисс между старой системой и современным капитализмом.

Бывший министр финансов Польши Лешек Бальцервич* в свое время прямо заявил: «Польша слишком бедна, чтобы экспериментировать. Поэтому мы воспользуемся работающими моделями. Эксперименты пусть ставят богатые страны, если они хотят».

Стремление к гармоничному развитию вместе с Европейским сообществом и в конечном итоге присоединению к нему имеет глубокие корни. Польша стремится вернуть свое место во всех европейских процессах, в том числе и в культуре. Начиная с 1989 г. революционные преобразования в Польше совершались под лозунгом «возвращение в Европу». Кроме того, поляки фактически единодушны в своем восхищении социальными и политическими достижениями в Западной Европе в послевоенный период, приведшими к созданию богатых и в значительной мере справедливых

обществ, основанных на частной собственности, социальном благополучии и стабильной парламентской демократии.

Поляки смотрят на страны Европейского сообщества не только как на пример, достойный подражания, но они также верят, что свободная торговля и финансовые связи с Европейским сообществом окажут им непосредственную помощь в достижении такого же уровня жизни, как в западноевропейских странах. Имеются неоспоримые доказательства того, что тесные взаимосвязи с Европейским сообществом помогли менее развитым странам, таким, как Португалия и Испания, устранить разрыв между уровнем жизни в этих странах и в более состоятельных государствах, таких, как Германия и Франция. В об-

щем показатели экономического развития дают основание считать, что экономика, ориентированная на торговлю на внешнем рынке, стимулирует рост производства, и Западная Европа, безусловно, является естественным торговым партнером своих восточных соседей.

Другое преимущество принятого на раннем этапе преобразований решения о вступлении в конечном счете в члены Европейского сообщества носит чисто символический характер. Многие потенциальные инвесторы, естественно, боятся, что огромные экономические потрясения, связанные с перестройкой, могут привести к политическим требованиям защитить национальную экономику от иностранного капитала и к другим проявлениям, не способствующим

долгосрочному экономическому росту. Договорные соглашения со странами Европейского сообщества могли бы безвозвратно направить Польшу на путь свободной торговли и за счет этого создать более привлекательные условия для инвестирования иностранного капитала. После того как в 1986 г. Португалия и Испания присоединились к Европейскому сообществу, другие западноевропейские страны значительно увеличили свои инвестиции в обе эти страны в

УСТАРЕВШАЯ ТЯЖЕЛАЯ ИНДУСТРИЯ — самое слабое место в экономике Польши. Переход к рыночной экономике привел к резкому спаду промышленного производства. Занятость же в сфере услуг, развитию которой в прошлом не уделялось внимания, постоянно растет.



* Вице-премьер, министр финансов до 23 декабря 1991 г. — Прим. ред.

Положение польской экономики

В 1989 г., когда в Польше было покончено с коммунистическим режимом, в стране разразилась инфляция и курс злотого катастрофически стал падать (справа). Начавшаяся в январе 1990 г. экономическая реформа положила конец этим явлениям. С тех пор безработица (в прошлом скрытая) резко возросла, но одновременно увеличилась заработная плата работающих.



ИСТОЧНИК: Польский бюллетень статистики, Международный статистический сборник IMF



какой-то мере благодаря возросшим гарантиям долгосрочности проводимой ими политики.

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ преобразования в Польше имеют две наиболее важные составляющие: реформы, которые призваны превратить командно-административную экономику в рыночную, и реальную перестройку производственной и предпринимательской деятельности, которая должна наступить в результате принятых реформ. Реформы можно и необходимо провести быстро — максимум в течение трех-пяти лет. Перестройка, напротив, займет не менее 10 лет, пока инвесторы не создадут новые секторы экономики в ответ на возникающие в новых условиях потребности рынка.

В процессе осуществления перестройки правительство должно следить за тем, чтобы система социального обеспечения защищала беднейшие слои населения — фермеров, пенсионеров и тех, кто работает на старых промышленных предприятиях. Многие в этой системе унаследовано от прежнего режима — сложившаяся система здравоохранения,

обеспечения жильем и пр. Другие институты, такие, как страхование от безработицы, являются необычными и привнесены капиталистическим способом производства. Как и в других демократических странах, общественные потребности в расходах на меры по социальной защите могут превышать бюджетные возможности. Поддержание разумного баланса между социальными потребностями и возможностями государственного бюджета является ключевой экономической и политической проблемой, которая не имеет простого решения.

Несмотря на то что правительство Польши вынуждено проводить такую политику, которая вызывает безработицу и другие социальные осложнения, оно настойчиво идет по пути реформ. В политическом курсе польского правительства доминируют три основные меры: либерализация, стабилизация и приватизация. Либерализация в экономике означает переход к рыночной конкуренции и создание правовой основы для частной собственности и частного предпринимательства. Стабилизация призвана создать условия для выживания любого предприятия. Она предусматри-

вает ограничение бюджетного дефицита, снижение роста денежной массы и установление реального и единого обменного курса, чтобы стабилизировать цены и внешнюю торговлю.

Приватизация, безусловно являющаяся самой сложной составляющей реформ, ставит своей целью передачу существующей государственной собственности, такой, как заводы и фабрики, в частное владение. При коммунистическом режиме 90% объема промышленного производства приходилось на 3000 принадлежащих государству промышленных предприятий. Другие 5000 государственных предприятий относились к таким областям, как транспорт, связь и торговля. Помимо приватизации государственных предприятий создание новых фирм, ставшее возможным благодаря либерализации в экономике, также является одним из направлений приватизации.

По мере продвижения экономики к рыночному капитализму всеобъемлющие и стремительные реформы могут в значительной мере уменьшить сумятицу в умах людей относительно «правил игры». Постепенное

же введение новых мер будет порождать неопределенность, внутренние противоречия и политическое сопротивление. «Шоковая терапия», напротив, тут же создает четкие стимулы для перехода к новой экономической системе. Как кто-то остроумно заметил, медленные реформы можно грубо сравнить со сменой привычного для англичан левостороннего движения на правостороннее путем перевода на новую систему сначала только грузовиков.

Из избранной Польшей стратегии, которую теперь в той или иной степени копируют другие государства Восточной Европы, вытекают три основополагающих принципа реформы. С 1 января 1990 г. были введены внутренняя конвертируемость злотого и другие существенные элементы либерализации и стабилизации. Страна также приступила к более сложному процессу приватизации.

Еще до перехода к стратегии «шоковой терапии» в начале 1990 г. ряд экономистов и других специалистов выражали беспокойство относительно либерализации цен в условиях, когда промышленное производство еще в основном оставалось в руках небольшого числа государственных монополий. Некоторые утверждали, что контроль за ценами должен оставаться до тех пор, пока не начнут работать частные конкурирующие производители. К счастью, они ошибались: оказалось, что свободная торговля и появляющаяся в результате возможность покупать иностранные товары по рыночным ценам обеспечили более быстрый и более эффективный путь к конкуренции цен на польском рынке, чем любая попытка провести монополизацию административными средствами.

Польша также довольно быстро достигла макроэкономической стабилизации путем ликвидации бюджетного дефицита и проведения жесткой денежной политики. Окончательный развал старого режима привел к невероятной финансовой нестабильности и к короткому периоду гиперинфляции, но в качестве одной из мер политики «шоковой терапии» правительство урезало государственные дотации, которые раньше составляли более 5% валового национального продукта (ВВП), увеличило процент взимаемого налога, установило контроль за заработной платой и резко девальвировало деньги. Дефицит государственного бюджета снизился с 7,4% ВВП в 1989 г. до превышения доходов над расходами в размере 3,8% в 1990 г.

Эти меры в сочетании с отказом от регулирования цен на большинство

товаров вызвали в течение января 1990 г. увеличение вдвое уровня цен на потребительские товары. Вскоре после этого одноразового скачка цен, однако, новые экономические условия положили быстрый конец высокому уровню инфляции и, что более примечательно, длившемуся десятилетиями хроническому дефициту товаров и очередам.

В 1990 г. в СТРАНЕ начали свою деятельность сотни тысяч малых предприятий, которые в считанные месяцы создали сеть магазинов, пунктов обслуживания и фирм, специализирующихся в области внешней торговли, строительства и транспортных услуг. Становление сферы услуг и торговли происходило особенно тяжело в экономике, которая на протяжении многих лет страдала от того, что оба этих сектора были слабо развиты. В первые несколько месяцев большая часть стартового капитала поступала из неофициальных источников, а не из официальной банковской системы. Семьи вкладывали имеющуюся у них свободно конвертируемую валюту (в отличие от злотых), которую они скопили в прежние времена. Деньги вкладывали соседи и члены семей новых предпринимателей, а также их родственники, живущие на Западе. Кроме того, капитал поступал официально или неофициально от государственных предприятий, например, муниципалитеты славали в аренду десятки тысяч магазинов тем, кто в них работал.

Многие виды деятельности вначале совершались неофициально (например, продажа мяса с кузова грузовика) и быстро наращивали свои масштабы, обретая форму полноправных малых предприятий. К концу 1990 г. и на протяжении 1991 г. официальная банковская система начала все в больших размерах выдавать кредиты новым малым частным фирмам.

Экономика также быстро адаптировалась к тому, чтобы сделать рынки открытыми для внешней торговли. Благодаря введению внутренней конвертируемости злотого и приемлемому обменному курсу после его девальвации экспорт Польши в западные страны быстро вырос примерно с 8,5 млрд. долл. в 1989 г. до 11,5 млрд. долл. в 1990 г. Этот рост продолжался и в 1991 г., что способствовало резкому увеличению объема импорта. Импортный бум отражает стремление поляков покупать товары длительного пользования западного производства, ранее не имевшиеся в продаже, а также значительное увеличение объема импортируемой промышленной техники и энергоресурсов, чтобы возместить недостаток в этой продукции в связи с прекратившимися поставками из бывшего Советского Союза (теперь Содружество Независимых Государств).

Несмотря на то что усилия по либерализации и стабилизации польской экономики в целом оказались успешными, приватизация, в особенности крупных предприятий, запаздывает, и это вызывает тревогу. Приватиза-



СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО ПОЛЬШИ все еще остается малопродуктивным и трудоемким. Большинство фермеров работают на своих земельных участках, площадь которых не превышает 5 га. Ожидается, что резкое сокращение дотаций в сельское хозяйство неизбежно приведет к созданию более крупных и более производительных фермерских хозяйств.



ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЛИБЕРАЛИЗАЦИЯ привела к появлению на рынке большого количества товаров широкого потребления (хотя и по более высоким ценам). На приведенных здесь фотографиях показан мясной магазин в 1989 г. (вверху), когда цены еще регулировались государством, и в 1990 г. (внизу), когда цены стали высокими.

ция — ключевая проблема страны: если ее не решить, она может привести к возврату затяжной экономической нестабильности.

Приватизация малых предприятий (где численность работающих не превышает 500 человек) быстро движется вперед. Грузовые автопарки, строительные организации и небольшие промышленные предприятия уже переданы в частные руки; большинство из них были проданы либо с аукцио-

на, либо трудовым коллективом. К середине 1991 г. более 40 тыс. магазинов были проданы или сданы в аренду частным владельцам; наряду с ростом числа частных фирм в сфере обслуживания на долю приватизированных объектов сейчас приходится 80—90% всего объема розничной торговли.

Что же касается крупных промышленных предприятий, то в Польше пока приватизирована лишь малая их

часть. Огромные масштабы этой задачи поистине поражают. Когда, например, в 80-х годах в Великобритании М. Тетчер энергично проводила кампанию по приватизации, в стране ежегодно удавалось приватизировать около пяти государственных предприятий. Но даже при таких темпах, которые в Великобритании определялись наличием развитого рынка капитала и способностью частного сектора поглощать государственные фирмы, приватизация в Польше заняла бы несколько столетий. Без долгих лет ведения хозяйства в условиях открытого рынка трудно оценить истинную стоимость государственных предприятий, а без большого накопления частного капитала мало кто может купить их по установленной «с потолка» цене. Хотя иностранные инвесторы могли бы найти капитал, чтобы раскупить польские фирмы (при условии, конечно, что они захотят это сделать), такой путь оказался бы неприемлемым с политической точки зрения.

Перед лицом этих трудностей летом прошлого года было принято решение приватизировать несколько сот крупных промышленных предприятий, раздав акции всем полякам. Так называемый план всеобщей приватизации требует распределения акций между несколькими частными инвестиционными фондами, каждый из которых будет иметь разнообразный портфель предприятий. В свою очередь акции инвестиционных фондов будут бесплатно раздаваться полякам, достигшим совершеннолетия. Для оказания помощи в наблюдении за деятельностью каждого инвестиционного фонда будут привлечены иностранные эксперты, хотя сами фонды будут принадлежать польским гражданам. В то же время некоторая доля акций каждого предприятия, примерно в размере 10%, будет бесплатно распределена среди его рабочих и служащих.

Как только акции окажутся в руках частных лиц, то вполне естественно образуется рынок акций. Рабочие и менеджеры смогут покупать и продавать свои акции, а инвестиционные фонды также смогут вести торговлю акциями между собой или продавать их другим инвесторам, как польским, так и зарубежным. Польские граждане смогут торговать принадлежащими им акциями инвестиционных фондов, создавая тем самым рыночное давление на эти фонды и заставляя их разумно распоряжаться своими ценными бумагами. Тем временем инвестиционные фонды назначат своих членом в совет директоров каждого предприятия, которым они владеют.

Эти представители в советах директоров будут тщательно следить за управлением, так как это принято на Западе.

Менеджеры предприятий, таким образом, столкнутся с несколькими видами проверки их деятельности и различными стимулами, что отсутствует на государственных фирмах. Кроме того, чтобы менеджеры стимулировались владельцами акций их предприятий, за деятельностью этих менеджеров будут следить директора предприятий, многие из которых будут назначены инвестиционными фондами. Они также столкнутся с контролем со стороны рынка за стоимостью акций, которые будут котироваться на рынке ценных бумаг. Предприятия, перспективы которых выглядят сомнительными, обнаружат, что стоимость их акций будет падать, и это заставит их пересмотреть свою деятельность или по крайней мере изменить систему управления. Стоимость акций преуспевающих предприятий, наоборот, будет расти, и тем самым потенциально будет создаваться дополнительный капитал для инвестирования. Кроме того, как только предприятия окажутся в частных руках, острота политических последствий перестройки снизится, поскольку частный сектор уже в большей степени, чем правительство, будет отвечать за положение дел. Требованиям о субсидиях и защите также будет легче противостоять.

Этот план был на пути к его принятию и осуществлению в конце 1991 г., однако неоднозначные результаты парламентских выборов поставили его будущее под сомнение. По крайней мере некоторые фонды будут созданы, но способ распределения их акций среди польских граждан остается предметом жарких споров. Число фирм, которые в конце концов будут участвовать в этой программе, также пока не определено. Первоначально намечались около 200 фирм. Если программа начнет осуществляться успешно, то лица, определяющие политику, намереваются распределить акции среди дополнительной группы фирм.

МЕЖДУ тем большинство крупных государственных предприятий польской промышленности остается без управления. При коммунистическом строе деятельность руководителей контролировалась государственными чиновниками или органами коммунистической партии, их директивы подкреплялись угрозой государственного насилия. В западных государствах, а также в восточных, где взят курс на повсеместную прива-

тизацию, менеджерами руководит совет директоров, который наделен полномочиями действовать от имени держателей акций. (Хотя это не всегда так, но по крайней мере законные основания возложить на них определенные обязанности и экономические стимулы всегда присутствуют.)

Однако, судя по тому, как сейчас дела обстоят в Польше, большинство менеджеров не подотчетны ни администрации, ни их официально вышестоящему органу — министерству финансов. Они действуют от своего собственного имени или под контролем рабочих советов. Лишь в очень незначительном числе случаев правительство назначало наблюдательные советы, представляющие интересы министерства финансов как законного владельца предприятий; эта мера называется коммерциализацией.

В результате все менеджеры с готовностью расходуют прибыль предприятия на повышение заработной платы, делая промышленные предприятия еще менее конкурентоспособными, чем они были раньше. Существующая в Польше система регулирования размера заработной платы сложилась как следствие весьма непопулярной политики централизации доходов, которая не эффективна экономически и разрушительна социально.

Кроме того, как следует из многих публикаций и выступлений, среди менеджеров государственных предприятий широко распространены конфликты интересов и стремление к собственной выгоде. Установлены случаи, когда менеджеры намеренно приводили фирмы к банкротству с целью их последующего выкупа по

дешевой цене или организовывали частные фирмы, которые затем получали выгодные контракты от государственных предприятий. Они брали неблагополучное совместное предприятие и принимали предложения, обеспечивающие личные выгоды, отвергая в то же время более выгодные предложения, которые связаны с риском для работы. Короче говоря, все болезни «дикого» капитализма, которыми был заражен Запад в XIX в., со всей полнотой сейчас проявляются в Польше.

Имеются также предприятия «зомби», менеджеры которых в силу своей некомпетентности не сумели приспособиться к новым рыночным условиям. Многие польские фирмы, например пострадавшие в результате свертывания торговли с бывшим Советским Союзом, просто продолжали производить товары в нормальных объемах и создали запасы, ожидая, что произойдет какое-нибудь чудо. В середине 1991 г. деньги иссякли, и образовавшийся поток неплатежеспособных предприятий с сопутствующими политическими и экономическими трудностями захлестнул страну.

До тех пор пока приватизация крупных промышленных объектов будет задерживаться, более широкое использование коммерциализации является настоятельной необходимостью. Хотя наблюдательный совет, призванный защищать интересы министерства финансов, не устанавливает частного владения, он все же осуществляет некоторый контроль за управленческой деятельностью и тем самым вынуждает предприятие придерживаться принятых правил корпоративного поведения.

ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫЕ ЧАСТНЫЕ ПРЕДПРИЯТИЯ



РЕЗКИЙ РОСТ численности частных предприятий обусловлен широкомасштабной приватизацией в польской экономике, хотя многие крупные предприятия все еще остаются в руках государства

Но даже эта мера внедряется очень медленно. Некоторые политические деятели недооценивают важности создания четкой правовой основы для государственных предприятий, в то время как другие указывают на реальную (но преодолимую) логически оправданную трудность в поиске квалифицированных людей, которые могли бы войти в состав наблюдательного совета. Некоторые специалисты, критически настроенные в отношении коммерциализации, выражают беспокойство, что злоупотребление властью со стороны наблюдательных советов может в конечном итоге восстановить централизованное управление предприятиями со стороны правительства.

СТРУКТУРА экономики Польши теперь уже изменяется под влиянием рыночных сил, возникших в последние два года. Как только дополнительные реформы, такие, как крупномасштабная приватизация, начнут давать желательный эффект, эти изменения получат новый импульс ускорения. В конце концов давление, оказываемое конкуренцией извне, по-видимому, сыграет самую большую роль в перестройке.

Хотя точный прогноз на далекую перспективу сделать невозможно и нельзя сказать, какие отрасли промышленности будут процветать, а в каких будет наблюдаться спад, некоторые основные тенденции уже проявляются. В целом масштабы индустриального сектора сужаются, в то время как слабо развивавшийся прежде сектор услуг (а именно торговля, общественное питание, банковские услуги и сфера бытового обслуживания, к которой относятся ремонт сантехники в домах и ремонт бытовой техники) получает развитие. Хотя о Польше часто говорят как о стране, переживающей острый спад в экономике, на самом деле это справедливо только по отношению к промышленности. Что же касается сферы услуг, то она сейчас на подъеме. С декабря 1989 г. по июнь 1991 г. в стране открылось 460 тыс. пунктов индивидуальной трудовой деятельности, преимущественно выполняющих различные услуги, а численность работающих в малых частных фирмах всех видов выросла по некоторым данным до 860 тыс. человек.

Существенные изменения наблюдаются также и в сельском хозяйстве. В Польше не произошло грандиозного демографического перемещения из сельского хозяйства в промышленность и сферу услуг, как это было почти во всех индустриально развитых странах. В сельском хозяйстве Поль-

ши до сих пор занято около 20% общего числа занятых, а доля сельскохозяйственного производства в ВВП составляет 10%. Многие фермеры мелких хозяйств испытывают сейчас финансовые трудности в результате резкого сокращения в последние два года дотаций в сельскохозяйственный сектор. В ближайшие одно-два десятилетия большинство мелких фермерских хозяйств объединятся в более крупные и более эффективные образования.

Однако для долгосрочного развития наиболее важной является полная перестройка того, что сохранилось в индустриальном секторе — от энергоемких тяжелых отраслей промышленности, таких, как металлургия и судостроение, до отраслей с трудоемкими процессами и требующих специалистов высокой квалификации, которые могут конкурировать на мировом рынке. Польша располагает дешевой рабочей силой и квалифицированными кадрами, особенно в области техники, что может оказаться благоприятным для налаживания производства дорогостоящей продукции на экспорт в страны Западной Европы. Некоторые важные преобразования в этом направлении уже делаются: за период с декабря 1989 г. по июнь 1991 г. число частных промышленных фирм выросло примерно до 25 тысяч.

Западные фирмы готовы наладить в Польше производство экспортной продукции по тому же образцу, как это делают европейские фирмы, вкладывая свои средства в Испанию, американские фирмы в Мексику и японские фирмы в Корею, на Тайване и в других государствах Юго-Восточной Азии. Однако пока в связи с неопределенностью в отношении правовых гарантий, касающихся собственности и политической поддержки экономических реформ в Польше, приток иностранного капитала в страну сохраняется на низком уровне. Если реформы обретут стабильность, объем инвестиций в ближайшие годы значительно возрастет.

Несмотря на то что в Польше на сегодня уже сделано немало, ситуация в этой стране остается чрезвычайно нестабильной. Рядовых поляков, как представляется, в меньшей степени занимает факт, что появление новых фирм в будущем обещает подъем в экономике, а в большей — скорость, с которой существующие промышленные предприятия приближаются к своему банкротству. Хотя полки магазинов наполнились товарами и исчезли очереди, сейчас полякам с трудом удается справиться с возросшими рыночными ценами при низких

заработках. Многие находятся в растерянности: они не могут понять, почему конец коммунистического режима не принес им процветания, почему при свободном рынке у них низкий жизненный уровень и почему самым очевидным результатом экономической реформы является безработица. Опрос, проведенный летом прошлого года, показал, что 60% поляков испытывают страх перед перспективой в ближайшее время потерять свою работу.

В первые два года реформ значительная часть населения осталась без твердого заработка. Сотни тысяч фермеров, например, обрабатывая крошечные и дающие малый урожай земельные участки, остались без дотаций, которые помогали им держаться на плаву. Точно так же сотни промышленных предприятий с сотнями тысяч рабочих оказались неконкурентоспособными в новых условиях рыночных отношений. К концу 1991 г. уровень безработицы достиг примерно 11%.

Этот рост безработицы нельзя, конечно, полностью отнести на счет реформ. Некоторые люди всегда были безработными, но их численность не регистрировалась властями, которые смотрели на безработных как на преступников, а не как на несчастных, которым нужна помощь. Многие экономисты в области занятости также склонны считать, что значительная часть безработных трудилась в сфере теневой экономики. Кроме того, крах советской экономики и разрыв торговых связей с бывшим Советским Союзом привели к быстрому спаду импорта из стран восточного блока. Сотни предприятий в Польше и в других странах вынуждены закрываться или намного снижать объемы производства.

Насколько польские предприятия окажутся способными переместить свой экспорт с Востока на Запад, настолько проводимые в этой стране реформы смогут реально помочь перенести такие удары извне. Тем не менее многие факторы, обуславливающие рост безработицы, реально существуют, и чувство страха потерять работу — это тоже реальность.

Хотя поляки возлагают на реформы вину за якобы чрезмерное падение жизненного уровня, его снижение почти наверняка является преувеличенным. С тех пор как кончились реформы, средний уровень заработной платы вырос в меньшей степени, чем цены на товары, и поэтому реальные доходы падали. Однако реально товары никогда не были доступны по ценам дореформенного периода, по

крайней мере их нельзя было купить без того, чтобы не выстоять длинную очередь, не дать взятку или не переплатить на черном рынке. По данным социологического опроса, сейчас поляки со средним уровнем дохода потребляют больше мяса, фруктов и товаров длительного пользования, чем раньше, и это свидетельствует о том, что большая наличность товаров более чем компенсировала возросшие цены. Кроме того, теперь люди экономят миллионы часов в неделю, которые раньше они вынуждены были тратить на стояние в очередях.

Однако расходы на некоторые виды товаров все же снизились по сравнению с прежним средним уровнем. Одна из важных областей, где снизилось потребление, — это одежда. Отдельные социальные группы (к ним относятся рабочие промышленных предприятий и фермеры) особенно сильно пострадали от реформ. В связи с разрывом торговых отношений Польши в 1991 г. с бывшим Советским Союзом и прекращением поставок нефти по льготным ценам польское общество вынуждено было потерять значительную часть прибыли, что никак нельзя отнести на счет экономических реформ.

ВСОВРЕМЕННОМ водовороте событий судьба политики, ставящей своей целью экономические преобразования в стране, весьма неопределенна. В послевоенной Германии, например, Людвиг Эрхард, вспоминаемый теперь как отец германского экономического чуда, подвергался широкой критике не за высокий уровень жизни, а за высокий уровень безработицы. Должно было пройти несколько лет после его реформы, прежде чем наступило процветание. Правительство Аленауэра, министром которого был Эрхард, едва выжило в первые трудные годы, в основном благодаря деньгам, поступающим в Германию по Плану Маршалла.

Бальцеревича будут вспоминать в Польше как отца экономического чуда в его стране, но только при условии, если реформам, которые он проводит, будет отпущено время. Это время, однако, может быть очень небольшим, учитывая, что терпение населения и стоящих у власти политических сил, поддерживающих меры по защите и финансовой поддержке переживающих упадок отраслей промышленности, не безгранично.

Самая большая опасность, подстерегающая польские реформы, заключается в том, что популистская непримиримость с временными трудностями, неразбериха в отношении

правовых аспектов собственности и раскол политических сил в парламенте могут привести к тому, что к власти придет слабое правительство, неспособное сделать последний решительный шаг к частной собственности. В этом случае экономическая ситуация почти наверняка станет еще хуже и, как это случилось в Южной Америке, демократическое правительство может оказаться таким же дискредитированным, как и тоталитарное, которое было до него.

«Юдоль слез», которая пролегла между началом проведения реформ и наступающим затем процветанием, имела место почти в каждой стране, которая становилась на путь экономических преобразований, будь то Германия и Япония в послевоенный период или Чили и Мексика в 80-е годы. Удастся ли быстро пройти по этой юдоли или нет, это зависит от стремления политического руководства и согласия общества последовательно придерживаться взятого на реформы курса. Непоследовательность и колебания могут легко привести к утрате собственных завоеваний — пример тому Аргентина, которая уже 45 лет «шатается» из стороны в сторону.

Своеобразные избирательные традиции и социальные разногласия повышают шанс на то, что страна будет «блуждать в пустыне». В октябре 1991 г. в Польше состоялись парламентские выборы по системе, которая обеспечивала почти строгую пропорциональность представительства даже малых партий, которые получали незначительную долю общего числа голосов. Закон о выборах усилил сложившееся в Польше разделение между крестьянами и рабочими, ведающими и антиклерикалами, городскими и сельскими жителями и т.д. В результате поляки избрали в парламент представителей не менее 29 партий. Ни одна из партий не получила более 15% голосов. Поэтому новое правительство наверняка будет коалиционным и в нем будут представлены многие партии, а история показывает, что такие правительства быстро становятся недееспособными вследствие внутренних разногласий.

И если даже полякам удастся достичь прочного внутреннего согласия, этого будет недостаточно для обеспечения успеха новой экономической политики. Какой бы привлекательной ни была надежда на то, что Польша и другие страны Восточной Европы смогут вновь стать на ноги без посторонней помощи, эта идея просто не реальна. Заметную роль в этом становлении должен сыграть Запад. Бывшие союзники СССР испы-

тывают сейчас и будут испытывать в течение нескольких лет острейшую потребность в финансовой помощи для проведения намеченных преобразований. США и страны Западной Европы должны дать гарантии, что в этот трудный неустойчивый период средства, необходимые для модернизации фабрик и заводов, дорог и предприятий коммунального хозяйства будут предоставлены.

Пожалуй, столь же важной как финансовая и техническая помощь является и символическая роль Запада. «Возвращение в Европу» — это та связующая идея, которая до сих пор позволяла сохранять единство в обществе и его согласие на реформы. Если Западная Европа не проявит интереса к этому возвращению Польши (или других восточноевропейских государств), то те немалые трудности, с которыми приходится сталкиваться новой демократии, могут подорвать курс на реформы и перестройку. Еще более опасным является то обстоятельство, что прижимистость, проявляемая до сих пор Западом, а также отдельные случаи очевидного ненавистного стремления западных инвесторов к наживе уже сейчас могут вызвать ответную реакцию в виде ненависти ко всему иностранному.

Чтобы оказать помощь перестройке, Европейское сообщество должно дать понять Польше, что она действительно может вернуться в Европу. Оно должно с полной ясностью заявить, что для Польши есть место в Европейском сообществе и она может стать его членом после того, как преодолит главные препятствия на пути экономических реформ. Эта перспектива, как ничто другое, придаст бы энтузиазм и политическую решимость реализовать намеченные реформы.

Подписание в конце 1991 г. соглашений между Европейским сообществом и Чехо-Словакией, Венгрией и Польшей об их ассоциированном членстве явилось важным шагом в этом направлении. Эти соглашения к концу нынешнего десятилетия предусматривают установление свободных торговых отношений между этими тремя странами и странами Европейского сообщества в области промышленной продукции. К сожалению, эти соглашения не позволяют сделать того, что так необходимо как в отношении членства, так и в отношении такого важного аспекта, как торговля сельскохозяйственной продукцией. Европейское сообщество сделало некоторые уступки, но его протекционистские принципы остаются неизменными. Нет сомнения, что страны Западной Европы все еще продолжа-

ют испытывать глубокую тревогу относительно устоявшихся более тесных отношений с восточноевропейскими странами, и эти опасения могут стать причиной значительных политических осложнений.

Европа переживает критический момент в своей истории. Холодная война между демократией и тоталитаризмом, которая разделила этот континент на полстолетие, закончи-

лась. Коммунизм проиграл эту войну. Однако до тех пор пока все европейцы не будут работать вместе, чтобы помочь построить рыночную экономику в странах Восточной Европы и объединить их на общей основе международной торговли, за победой над коммунизмом могут последовать хаос и неразбериха, а не экономическое обновление и наращивание темпов развития.

Наука и общество

На пути

к искусственному мозгу

НЕЙРОНАТОМ Родни Дуглас из Оксфордского университета считает вполне вероятным, что через год один из его аспирантов приступит к изучению нервных импульсов в «организме» кремниевой мухи. Другие аспиранты, возможно, займутся изучением нейронных лабиринтов электронных муравьев, срезов коры головного мозга кремниевых млекопитающих, а также исследованием других моделей обработки биологической информации.

Причины оптимистичных ожиданий Дугласа в этой необычной области связаны с успешной реализацией функций нейрона в кремниевом кристалле, эту работу он выполнил совместно с Мишей Маховальдом из Калифорнийского технологического института. Искусственные нейроны являются важнейшим элементом так называемых нейронных сетей, с помощью которых ученые пытаются дублировать структуру и функции нервных клеток в кремниевых микросхемах. Хотя нейронные сети первоначально разрабатывались для создания компьютеров, способных имитировать работу человеческого мозга, они все в большей степени начинают представлять интерес как модели для изучения биологических процессов. Дуглас утверждает, что созданный ими кристалл существенно повышает уровень достоверности и правдоподобия в моделировании нервной системы, поскольку в нем эмулируется поток ионов кальция и калия, которые вызывают срабатывание «настоящих» биологических нейронов.

Дуглас говорит, что до настоящего времени ученые вынуждены были заниматься цифровым моделированием нейронов, для чего необходимы мощ-

ные быстродействующие компьютеры и дорогостоящее программное обеспечение. Но, по мнению Дугласа, даже при использовании таких средств полученные результаты «слегка отличались» от реальности. Кремниевый вариант нейронов, который должен быть и дешевле, и более быстродействующим по сравнению с его программным аналогом, создает полное впечатление работы с настоящими живыми клетками — он вырабатывает даже некоторый шум, демонстрирует элемент случайности в поведении и изменчивости, которые присущи настоящим нейронам. Кроме того, экспериментаторы могут изменять свойства кремниевого нейрона так, чтобы он наилучшим образом соответствовал поведению конкретных типов изучаемых нервных клеток. Например, параметры, которые определяют проницаемость мембраны для различных ионов, можно регулировать так, чтобы напряжения и токи отражали поведение определенных клеток.

Прежние попытки смоделировать на уровне кремния аксоны и синапсы были неудачными из-за непреодолимости серьезных технических проблем: одна из них — обеспечение взаимного соединения большого количества нейронов. Для моделирования аксонов на кристалле необходимо размещать длинные соединительные проводники, которые неизбежно ослабляют или искажают сигналы. Небольшие отклонения в технологическом процессе изготовления кристаллов могут привести к тому, что определенный уровень напряжения на одном кристалле будет «означать» нечто отличное от того, чему оно будет соответствовать на другом кристалле.

В основу работы новой «конструкции» нейрона положено представле-

ние сигнала не постоянным уровнем напряжения, а последовательностью импульсов, частота следования которых зависит от возбуждения нейрона. «Импульс всегда является импульсом», — говорит Маховальд, имея в виду, что установить факт наличия или отсутствия импульсов всегда можно с помощью простейших схем. Микросхемы нейронов соединяются высокоскоростной магистралью передачи данных, и когда нейрон вырабатывает импульс, он передает его адрес всем остальным нейронам. Любой нейрон, на вход которого поступит сигнал от сработавшего нейрона, примет этот адрес и соответственно изменит уровень своей активности. Дуглас утверждает, что такая система позволяет экспериментаторам с помощью всего лишь десятков микросхем создать нейронную сеть из сотен и даже тысяч нейронов. Более того, адресные схемы каждого нейрона можно программировать, что позволяет изменять их соединения программным образом, не перепаявая при этом всю плату.

Согласно прогнозам Дугласа, такие нейронные микросхемы будут широко использоваться как исследователями искусственного интеллекта, пытающимися создать простые автономные системы, так и нейронатомами, изучающими функции мозга. Эти микросхемы позволяют непосредственно проверить теоретические представления о работе нейронов и их взаимосоединениях; такая «роскошь», как он выражается, практически никогда не была доступна ученым. «Вы полагаете, что все понимаете, — объясняет Дуглас, — но наиболее интересные вопросы появляются, когда видите, как работает эта штука».

Пол Уоллич

Троянский конь

ВСКОРЕ после полуночи 3 декабря 1984 г. на заводе по производству пестицидов компании Union Carbide в Бопале (Индия) произошел выброс более 30 т газообразного ядовитого вещества, называемого метилизоцианатом. У спавших жителей это соединение, энергично взаимодействуя с влагой на открытых частях тела, вызвало ожоги. Многие сразу задохнулись из-за того, что в обожженные легкие хлынула тканевая жидкость. Другие погибли позже в результате повреждения дыхательной системы и проникновения инфекции. Число смертельных исходов оценивается более чем в 3,5 тыс.; у десятков тысяч людей подозреваются острые пора-

жения, вызванные метилизоцианатом.

Спустя 7 лет медицинские службы все еще разбираются в том, сколь глубокие следы вызвал яд у оставшихся в живых пострадавших. По наблюдениям врачей, помимо явных ожогов легких и глаз у многих из них имеют место также необъясненные расстройства сердечно-сосудистой, пищеварительной и иммунной систем, нарушения в нервно-мышечном аппарате и половых органах. Оказываются поврежденными те органы и ткани, которые впрямую не контактировали с метилизоцианатом. Сейчас предполагается, что эффекту этого вещества способствовал пептид глутатион, который, как считается, обычно защищает клетки от вредоносных химических агентов. Однако некоторые полученные в последнее время данные подорвали репутацию глутатиона: по-видимому, иногда он может действовать наподобие троянского коня, перенося ядовитые соединения в глубь организма.

В начале в кругах здравоохранения бытовало мнение, что метилизоцианат слишком реакционноспособен, чтобы у пострадавших в Бопале он мог проникнуть глубоко в ткани путем диффузии. Но в 1988 г. две исследовательские группы, одна под руководством И. Алари из Питтсбургского университета, а другая — Б. Баттачарья из индийской Организации по исследованиям и разработкам защитных средств, независимо показали, что метилизоцианат может проникать в ткани. У лабораторных животных, вдыхавших радиоактивно меченый метилизоцианат, метка быстро поступала в кровь, мочу и желчь, а также продолжала циркулировать в организме в течение нескольких дней.

Каким образом это ядовитое вещество перемещается в тканях, не взаимодействуя с их компонентами? Т. Бэйли из Вашингтонского университета и Дж. Слэттер из компании Urjohn в Каламазу полагают, что метилизоцианат транспортируется при помощи глутатиона, который присутствует в выстилке легких в высокой концентрации. В норме глутатион способствует очистке клеток от опасных реакционноспособных радикалов и других соединений, связываясь с ними. Образующиеся комплексы затем удаляются из клеток и выводятся из организма.

Глутатион связывается и с метилизоцианатом, но, как утверждает Бэйли, обратимо. Возможно, что у жертв бопальской катастрофы благодаря глутатиону большое количество метилизоцианата покинуло легкие и по воле случая попало в различные



ЖЕРТВЫ массового отравления, случившегося в результате катастрофы на химическом заводе в Бопале (Индия) в 1984 г., получают медицинскую помощь. (Фотография: Baldev/Sygm.)

ткани, где он вызвал повреждения, приведшие к разнообразным заболеваниям.

Эксперименты, проделанные Бэйли и Слэттером, подтверждают это предположение. Они показали, что животные после инъекции метилизоцианата выделяют его комплекс с глутатионом. В опытах *in vitro* этот комплекс при определенных физиологических условиях распадался; освободившийся таким образом метилизоцианат повреждал белки и мембраны на поверхности клеток. «Вопрос не в том, взаимодействуют ли с глутатионом ядовитые вещества, поступившие в организм при дыхании, как метилизоцианат. Это уже не вызывает сомнения, — говорит Бэйли. — Остается неизвестным, когда образуется комплекс с глутатионом и может ли он переходить из легких в кровоток».

«Бэйли, как никто другой, определенно показал, что это может происходить в физиологических условиях», — сказал У. Браун из Университета Карнеги—Меллона, изучающий метилизоцианат вот уже лет двадцать. Он отмечает, однако, что биохимики все еще спорят о том, разлагается ли комплекс метилизоцианата и глутатиона в организме и каковы могут быть последствия этого.

Хотя работа Ю. Бэйли представляет хорошую рабочую гипотезу, Браун предостерегает, что на самом деле могут действовать и иные механизмы. Существуют, например, такие метаболические пути детоксикации отравляющих веществ в легких, на которых метилизоцианат может превращаться в долгоживущие радикалы, способные поступать в кровь. Как известно, в результате подобных реакций из некоторых веществ образуются канцерогены. «Начался пересмотр представлений о механизмах токсичности и детоксикации», — считает Браун. Как подчеркивают он и Слэттер в обзоре, опубликованном недавно в журнале "Accounts of Chemical Research", глутатион может обратимо соединяться с токсинами ряда классов, как природными, так и промышленного происхождения, в том числе изотиоцианатами, которые содержатся во многих овощах. В дальнейших исследованиях должно быть выяснено, насколько вредоносной оказалась двойственная роль глутатиона у пострадавших в Бопале и в других аналогичных случаях. Должно также определиться, есть ли средства против негативного аспекта этой роли.

Джон Ренни

Метод пэтч-кламп

Этот простой метод позволяет легко выделять ионные каналы из клеточных мембран. Его разработчики, удостоенные Нобелевской премии, рассказывают о возможностях такого подхода для изучения сигнальных систем клеток

ЭРВИН НЕЕР, БЕРТ САКМАН

ПОЧТИ во всех клетках внутриклеточная и межклеточная передача сигналов осуществляются с помощью ионных каналов, которые представляют собой погруженные в плазматическую мембрану белки, образующие в ней поры. В организме они обеспечивают всплески электрической активности, приводящие в действие нервные и мышечные клетки. В сенсорных органах при участии ионных каналов происходит преобразование физических и химических стимулов в электрические сигналы для нервной системы. Даже в клетках, непосредственно не связанных с нервной системой, например в клетках крови, иммунной системы, печени и других органов, ионные каналы используются для сигнальных процессов.

Начиная с 1950-х годов на макроскопическом уровне изучались электрические токи, возникающие в результате движения ионов по мембранным каналам. Но возможность исследования индивидуальных ионных каналов появилась только в 1970-х годах. Впервые такая возможность возникла благодаря методу пэтч-кламп*, за разработку которого мы были удостоены Нобелевской премии в области физиологии и медицины.

Предложенная нами техника в принципе довольно проста, хотя на ее разработку и совершенствование потребовалось несколько лет. Тонкая стеклянная пипетка соответствующей формы плотно прижимается к клеточной мембране, изолируя тем

* Неоднократно обсуждался вопрос: как следует называть метод по-русски? К единому мнению прийти не удалось; наиболее удачный русский эквивалент «точечная фиксация мембранного потенциала и измерение токов через одиночные ионные каналы» слишком громоздкий, поэтому обычно сохраняют буквальную транскрипцию английского термина «patch-clamp» (patch — доскут, clamp — зажим). См., например: Регистрация одиночных каналов. Под ред. Б. Сакмана и Э. Неера. — М.: «Мир», 1987. — Прим. ред.

самым небольшой ее участок (пэтч) и содержащиеся в нем ионные каналы. Затем можно делать различные химические или электрические манипуляции с каналами и изучать их свойства. Можно даже удалить участок клеточной мембраны или проделать в ней аккуратное «окно» для воздействия на компоненты цитоплазмы клетки. Во всех этих случаях техника пэтч-кламп позволяет оценить влияние ионных каналов на мембранный потенциал и на такие клеточные процессы, как секреция и сокращение. Метод пэтч-кламп, предложенный нами в 1976 г., использовался и улучшался в сотнях лабораторий во всем мире. То, что здесь рассказывается об исследованиях ионных каналов и их функций, включает не только наши данные, но и результаты работ многих других ученых.

МЫ ЗАИНТЕРЕСОВАЛИСЬ ионными каналами под впечатлением двух интригующих публикаций в 1969 и 1970 гг., когда, будучи аспирантами, занимались биофизикой мембран в Институте психиатрии им. Макса Планка в Мюнхене. В этих статьях рассматривались искусственные липидные мембраны, которые в своей чистой форме являются электрическими изоляторами. Р. Бин с коллегами из корпорации Ford Aerospace в Ньюпорт-Бич, а также С. Хладки и Д. Хэйдон из Кембриджского университета показали, что включение в такие мембраны следовых количеств определенных антибиотиков или белков превращает их в проводники электричества. Дискретные изменения в трансмембранном токе давали основание предполагать, что эти белки формируют каналы наподобие пор, которые каждый по отдельности открываются и закрываются. В таком случае заряженные ионы могли бы проникать сквозь мембраны через открытые каналы.

Многие исследователи пришли к мысли, что электрические сигналы в нейронах и других клетках, возможно, опосредуются аналогичными бел-

ками в липидных плазматических мембранах. А. Ходжкин и Э. Хаксли из Кембриджского университета предложили ранее концепцию ионных каналов в своих классических работах, посвященных анализу токов через мембраны нервных волокон, за которые они в 1963 г. получили Нобелевскую премию. Все, кто занимался биофизикой мембран, были уверены, что при достаточно тонком разрешении удастся обнаружить целый микрокосм сигнальных молекул.

В последующие годы продолжали накапливаться данные о функционировании ионных каналов в клеточных мембранах. Наиболее значительные результаты были получены в 1972 г. Б. Катцем и Р. Миледи из Медицинского колледжа Лондонского университета, которые разработали метод статистического анализа флуктуирующей потенциала в нервно-мышечных контактах (синапсах между мотонейронами и мышечными волокнами). Они сделали вывод, что синаптические сигналы состоят из небольших электрических импульсов той же величины, что и в искусственных каналах.

Но Катц и Миледи только постулировали свойства каналов на основании результатов своего анализа, который базировался на нескольких предположениях. В то время не существовало методов прямого измерения единичных процессов, составляющих синаптический сигнал. Шумовой фон при использовании стандартного оборудования для измерения трансмембранного тока составлял всего 10^{-10} А, но это в 100 раз превышало значение одиночного тока, что исключало возможность его регистрации.

В 1973 г. мы попытались справиться с проблемой снижения шумового фона. Имевшееся электронное оборудование могло обеспечить достаточное для измерения разрешение только при условии изоляции небольшого участка мембраны от остальной ее части. Выбранный нами подход заключался в том, что стеклянная микропипетка прижималась к поверхности

ферментативно очищенного мышечного волокна. Как мы надеялись, непроводящая стеклянная пипетка должна изолировать небольшое количество ионных каналов, обеспечивая получение четких сигналов.

К сожалению, оказалось непросто добиться плотного примыкания измерительной стеклянной микропипетки к мембране. Как и многие исследователи, использовавшие внеклеточные пипетки, мы столкнулись с электрической утечкой, соединяющей внекле-

точную жидкость с содержимым пипетки. Тем не менее благодаря тщательной очистке клеточной поверхности и оптимизации формы и размеров пипетки удалось зарегистрировать одиночные каналные токи в ответ на нейромедиатор ацетилхолин (химический инициатор нервного сигнала) в нервно-мышечных контактах. Эти ранние эксперименты подтвердили многочисленные предшествовавшие выводы об элементарных токах через ионные каналы и, в частно-

сти, предположение об импульсных процессах с постоянной амплитудой и меняющейся продолжительностью.

Поначалу низкое качество смывки пипетки с мембраной и связанный с этим фоновый шум затрудняли детальную регистрацию активности ионных каналов помимо нервно-мышечных контактов. Спустя несколько лет мы случайно обнаружили, что слабое отсасывание через пипетку вместе с рядом других измене-

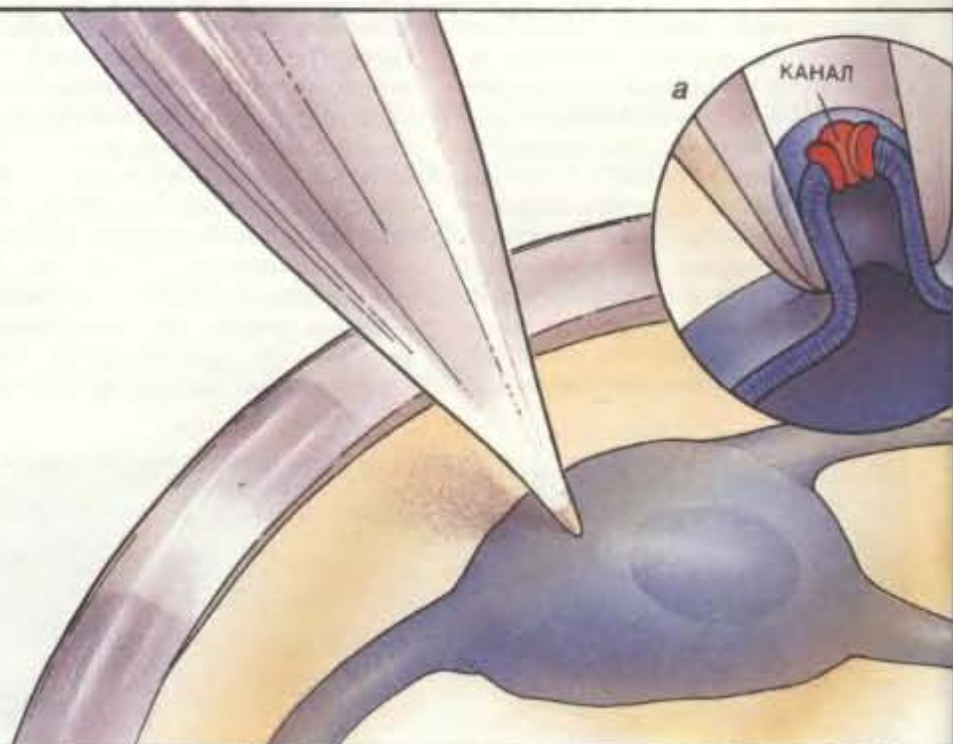


ПЛОТНОЕ ПРИМЫКАНИЕ ПИПЕТКИ к клеточной поверхности позволяет изучать ионные каналы в плазматической (внешней) мембране нейрона. Специальная пипетка, диаметр которой всего 100 Å, обеспечивает физическую и электрическую изоляцию захваченных ею каналов. С по-

мощью этого метода, известного под названием «пэтч-кламп», можно регистрировать открывание и закрывание ионных каналов. Сейчас он широко применяется для выяснения деталей сигнальных сетей внутри клеток.

Три варианта метода пэтч-кламп

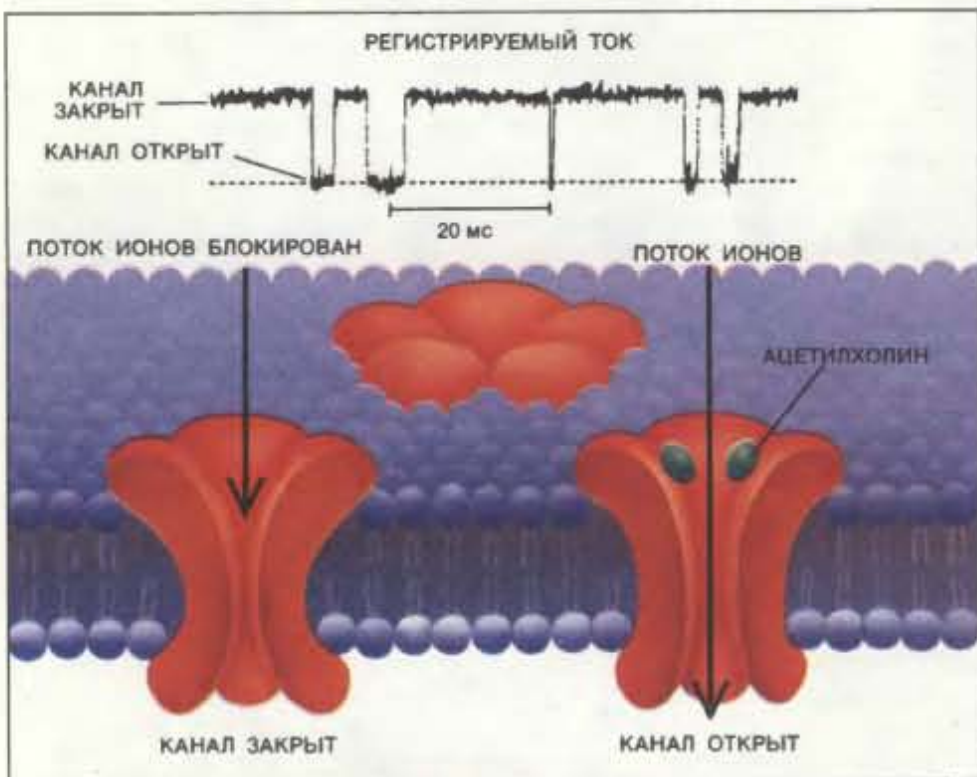
Пэтч-пипетку прижимают к ферментативно очищенной поверхности клетки и слегка подсасывают; в результате создается гигаомный контакт вокруг ограниченного участка (пэтча) клеточной мембраны и содержащихся в нем ионных каналов (а). Через пипетку можно подводить к клетке различные стимулы и регистрировать поведение захваченных каналов. Можно также отделить захваченный участок мембраны от клетки, тем самым получив доступ к внутриклеточной стороне каналов (b). Если захваченный фрагмент мембраны разрушить, сохранив гигаомный контакт (c), можно влиять на компоненты цитоплазмы живой клетки.



ний процедуры обеспечивает увеличение сопротивления контакта между мембраной и пипеткой до более чем 10^9 Ом — это на несколько порядков превышает исходные параметры. Путем осторожного подергивания плотно примыкающей к мембране пипетки

удавалось даже извлекать микроскопические участки мембран для изучения в изолированном виде. Таким образом, регистрация активности одиночных ионных каналов стала методом высокого разрешения.

Наиболее детальная информация о



РЕЦЕПТОРНЫЕ КАНАЛЫ в концевых пластинках нервно-мышечных контактов открываются в ответ на нейромедиатор ацетилхолин. В отсутствие ацетилхолина тока через каналы практически нет. При связывании ацетилхолина с рецептором возникает элементарный ток в несколько пикоампер. Измеряемые продолжительности токов и интервалов между ними варьируют, поскольку взаимодействие молекул ацетилхолина с рецепторами представляет собой вероятностный процесс.

роли ионных каналов в синаптической передаче была получена в экспериментах с нервно-мышечными контактами скелетных мышц. В этих структурах пресинаптические нейроны выделяют ацетилхолин дискретными порциями, называемыми квантами. Молекулы ацетилхолина временно связываются с каналами соответствующих рецепторов, представляющими собой специализированные белки в составе постсинаптической мембраны, и вызывают ток через мембрану концевой пластинки. Этот ток концевой пластинки является суммой элементарных токов через сотни тысяч каналов.

Для измерения элементарных токов по отдельности следует прижать кончик пипетки к концевой пластинке мышечного волокна. Этот участок мышечной поверхности содержит каналы ацетилхолиновых рецепторов. При низкой концентрации ацетилхолина в жидкости внутри пипетки регистрируемый ток переключается между двумя уровнями. На одном уровне ток по существу отсутствует, поскольку все ионные каналы в изолированном участке мембраны закрыты. Когда один из каналов переходит в открытое состояние благодаря приложенному к мембране потенциалу, резко возникает трансмембранный ток силой около 2,5 пА. После варьирующего промежутка времени канал возвращается в закрытое состояние и трансмембранный ток прекращается.

Открытие рецепторного канала инициируется связыванием рецептора с ацетилхолином. Отсоединение ацетилхолина вызывает обратный про-

цесс — канал закрывается. Соотношение продолжительностей существования канала в открытом и закрытом состояниях носит случайный характер, что отражает вероятностную природу взаимодействия между молекулами ацетилхолина и рецептора. Амплитуда тока отражает способность канала транспортировать ионы, например ионы натрия или калия в случае каналов ацетилхолиновых рецепторов. Сравнение амплитуд измеряемых токов и их продолжительности с параметрами, предсказываемыми различными гипотезами, позволяет судить о характере взаимодействия ионов с образующими канал молекулами и механизме открывания и закрывания каналов в результате взаимодействия медиаторов с рецепторами.

В синапсах центральной нервной системы наиболее распространенными сигнальными веществами для быстрых межклеточных коммуникаций являются определенные аминокислоты — глицин, γ -аминомасляная кислота (ГАМК) и L-глутамат. Импульсная форма токов в каналах, связывающих эти медиаторы, свидетельствует, что они открываются и закрываются тоже случайным образом. Следовательно, каналы рецепторов этих медиаторов могут работать точно так же, как и каналы ацетилхолиновых рецепторов в концевых пластинках нервно-мышечных контактов. Однако открываемые медиаторами каналы в центральной нервной системе часто характеризуются дополнительными особенностями: они могут открываться или закрываться лишь частично, и в различных участках

налов, зависящих от медиаторов или от потенциала, даже еще детальнее, чем об этом сказано выше. Почти у всех изученных ионных каналов при тщательном анализе выявляется, что элементарный ток является результатом не одиночного импульса, а серии быстрых импульсов, разделенных короткими промежутками времени. Когда канал рецептора медиатора в концевой пластинке нервно-мышечного контакта связывает ацетилхолин, он претерпевает несколько циклов закрывания и открывания, пока комплекс ацетилхолина с рецептором не диссоциирует.

Мы вместе с Д. Коллуном из Медицинского колледжа Лондонского университета изучали структуру этих переходов в каналах концевых пластинок. С помощью теории вероятности оценивалось число состояний ацетилхолиновых каналов в процессе последовательных открываний и закрываний, а также скоростей переходов из одного состояния в другое. Результаты такого детального анализа показали, что каждый рецептор обладает двумя участками связывания ацетилхолина. Когда оба участка заняты молекулами ацетилхолина, вероятность открывания канала приближается к 100%. С учетом высокой концентрации ацетилхолина в синаптической щели каналы концевой пластинки могут действовать как быстрые химически регулируемые электрические переключатели.

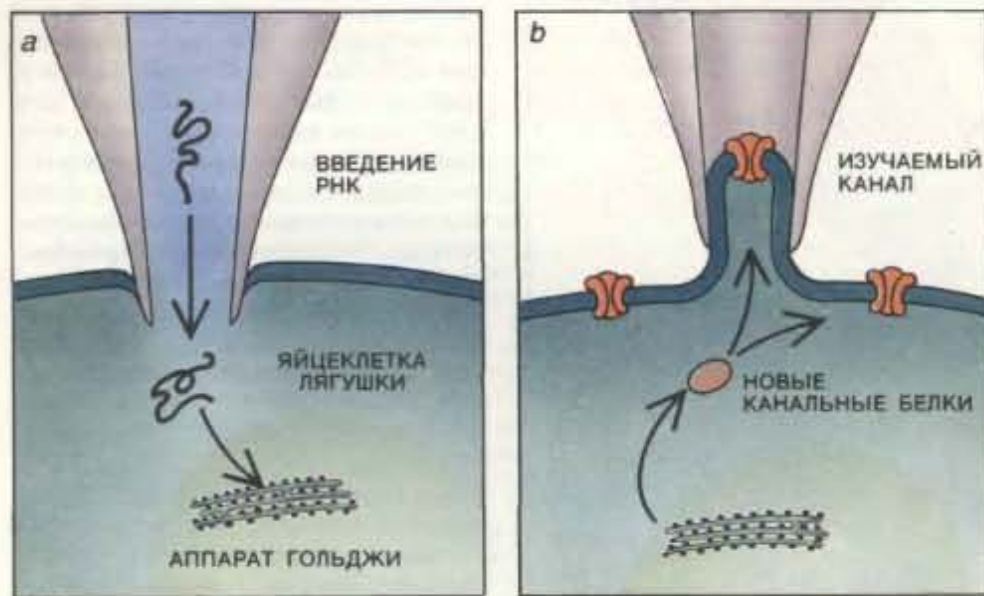
мозга существуют разные подтипы каналов.

Передача информации от центральной нервной системы к нервно-мышечным контактам должна быть чрезвычайно быстрой. В покрытых миелином аксонах нейронов, осуществляющих эту функцию у позвоночных, проведение сигналов обеспечивается не такими каналами, открываемыми медиаторами, как описано выше. Их проводимость определяется более быстрыми каналами, реагирующими на изменения мембранного потенциала — разницу электрических потенциалов между наружной и внутренней сторонами клеточной поверхности.

Зависимые от потенциала каналы для ионов Na^+ обеспечивают быстрое возникновение потенциала действия в нейронах. Анализ элементарных токов ионов натрия указывает на переключение зависимых от потенциала каналов между двумя состояниями и высокую вероятность открывания каналов вскоре после начала изменения потенциала. Ток, поддерживающий нервный импульс, возникает как суперпозиция десятков тысяч таких элементарных токов ионов натрия. Зависимые от потенциала каналы для других ионов, например ионов калия и кальция, функционируют, по-видимому, в основном так же, как натриевые каналы, и обладают многими их структурными особенностями.

ИССЛЕДОВАНИЯ с применением метода пэтч-кламп выявляют динамические молекулярные механизмы функционирования ионных ка-

Первостепенной задачей в изучении мембранных каналов было найти соответствие между их функциональными свойствами и пространственной структурой. Один из путей решения этой проблемы — выявление и изменение критических аминокислотных последовательностей с оценкой влия-



МЕТОДЫ ГЕННОЙ ИНЖЕНЕРИИ помогают исследовать ионные каналы. В яйцеклетки лягушки вводят последовательности РНК, кодирующие субъединицы ионных каналов (слева). Эти клетки синтезируют затем каналные белки, которые включаются в поверхностную мембрану, где их можно изучать методом пэтч-кламп (справа).

ния этих изменений на функционирование каналов.

Такие эксперименты стали возможны после того, как были выделены, клонированы и секвенированы ДНК, кодирующие каждую субъединицу ацетилхолинового рецептора. В сотрудничестве с С. Нума из Университета в Киото и его группой мы предприняли исследование нормальных и генетически измененных каналов ацетилхолиновых рецепторов в мембранах яйцеклеток шпорцевой лягушки *Xenopus*. Используя копии ДНК, кодирующих ацетилхолиновые рецепторы, мы синтезировали *in vitro* комплементарные им матричные РНК. Эти РНК вводили затем в яйцеклетки, где происходила трансляция содержащейся в них генетической информации, т. е. синтез рецепторных белков, встраивавшихся в клеточную мембрану. По функциональным свойствам эти рекомбинантные рецепторные каналы были очень похожи на каналы концевой пластинки в нервно-мышечных контактах.

Эта комбинация методов помогла прояснить структурные различия между подтипами каналов концевой пластинки в мышцах. При регистрации элементарных токов концевой пластинки в мышцах млекопитающих выявились два подтипа каналов: один из них характеризовался низкой проводимостью и присутствовал главным образом у эмбрионов и новорожденных, другой обладал высокой проводимостью при различных пропускных свойствах и имелся у взрослых особей. В ходе постнатального развития эмбриональный подтип постепен-

но исчезает и замещается взрослым подтипом. Как показали опыты с рекомбинантными ДНК, сдвиг мозаики различных типов каналов обусловлен изменениями экспрессии генов, кодирующих субъединицы этих каналов.

Сходные методические приемы были применены для выявления и определения местоположения аминокислотных последовательностей в ацетилхолиновом рецепторе, которые формируют внутренние стенки мембранного канала. Анализ аминокислотных последовательностей субъединиц рецептора показал, что каждая субъединица содержит по четыре сегмента, пересекающих мембрану (их обозначают М1—М4). Канал ацетилхолинового рецептора, по-видимому, выстлан несколькими трансмембранными сегментами, наподобие бочарных клепок; каждая субъединица предоставляет один сегмент.

С помощью техники рекомбинантных ДНК мы сконструировали гены для химерных каналов, составленных из субъединиц от видов (корова и электрический скат), у которых каналы имеют разные проводящие свойства. Изучая химерные каналы, мы установили, что сегмент М2 и прилегающие к нему участки содержат важные детерминанты транспорта ионов. Направленные мутации, вызывавшие аминокислотные замены этих участков, позволили получить карту расположения детерминант.

Обнаружилось, что три кластера отрицательно заряженных аминокислотных остатков могут образовывать кольца у внеклеточного и внутриклеточного устьев канала. Сходное

кольцо из полярных аминокислотных остатков формируется в трансмембранном участке вблизи внутриклеточного устья. (Полярные аминокислоты обладают электрически поляризуемыми структурами, хотя их суммарный заряд равен нулю.) Эти отрицательно заряженные кольца весьма значительно влияют на величину трансмембранного тока и могут обеспечивать избирательность канала для определенных ионов: положительно заряженные ионы натрия и калия будут проходить через канал, а отрицательно заряженные ионы хлора нет. Полученные нами результаты позволили также предположить, что полярные аминокислоты, располагающиеся вблизи внутриклеточной части трансмембранного сегмента М2, формируют наиболее узкий участок канала ацетилхолинового рецептора.

ВОЗМОЖНОСТИ техники пэтч-кламп не ограничены только выявлением молекулярных деталей функционирования каналов. Пэтч-пипетки могут также использоваться для исследования сигнальных механизмов на клеточном уровне; эта процедура известна под названием анализа при фиксации потенциала. При изучении процессов в небольших клетках техника пэтч-кламп имеет ряд преимуществ перед обычной микроэлектродной техникой.

Обычный анализ при фиксации потенциала много дал для понимания сигнальных процессов в нервной системе. Этот подход был предложен К. Коулом из Морской биологической лаборатории в Вудс-Холе в 1949 г.; Ходжкин и Хаксли использовали его для выяснения основных механизмов нервного возбуждения. Метод включает в себя, по выражению Коула, «приручение аксона» путем приложения экспериментального трансмембранного потенциала к аксону нейрона. В результате возникают мембранные токи, которые регистрируют и интерпретируют.

К сожалению, метод фиксации потенциала в большинстве своих вариантов требует либо аксиальных проводов, либо введения в клетку по крайней мере двух микроэлектродов, что обычно возможно лишь применительно к наиболее крупным животным или растительным клеткам. А клетки млекопитающих, как правило, имеют средний диаметр не более 10—30 мкм и с трудом выдерживают прокалывание даже одиночным стандартным микроэлектродом. До разработки техники пэтч-кламп было больше известно о потенциале действия в гигантских аксонах кальмара, чем о нервных импульсах в мозге че-

ловека. Среди растительных клеток самыми изученными оказались сигналы гигантских водорослей, а не клеток кукурузы, пшеницы или сахарной свеклы.

Возможность создавать гигаомные контакты между пэтч-пипеткой и мембраной клетки буквально открыла клетки млекопитающих и другие мелкие клетки для исследований. Это позволяло не только измерять активность мембранных каналов, но и применить к мелким клеткам анализ при фиксации потенциала. Дело в том, что при достаточном навыке исследователь может разрушить охваченный пэтч-пипеткой участок мембраны, сохраняя плотный контакт между пипеткой и окружающей мембраной, и тем самым получить доступ к цитоплазме. Эта конфигурация, получившая название регистрации на целых клетках, напоминает прокалывание микроэлектродами, однако обеспечивает значительно лучший контроль внутриклеточной среды и ее выдерживают гораздо более мелкие клетки.

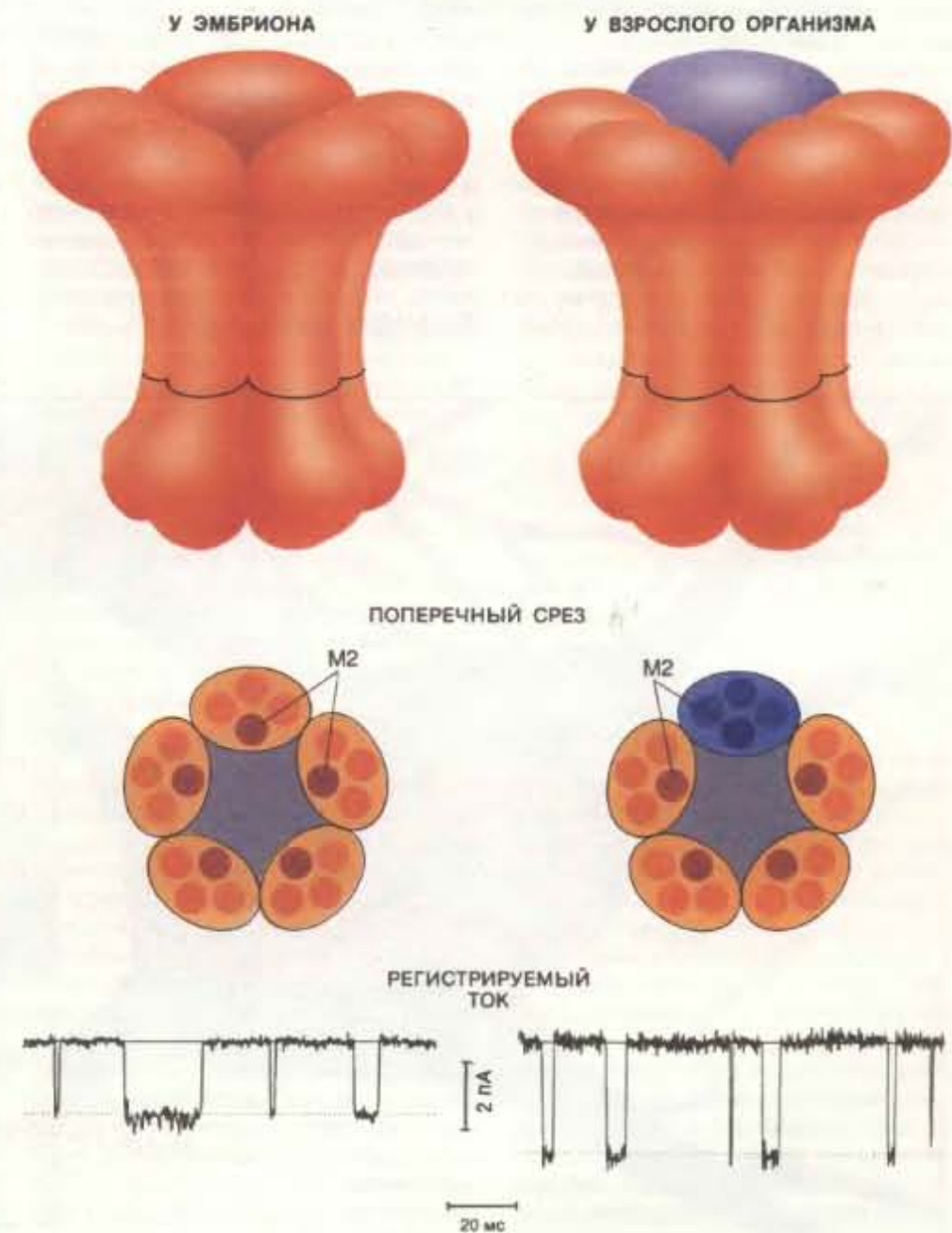
Регистрация на целых клетках с помощью пэтч-пипеток стала более стандартным методом исследования в культурах клеток млекопитающих. Фиксация потенциала осуществима даже для эритроцитов и тромбоцитов человека, диаметр которых составляет только несколько микрон. Таким образом, большинство типов клеток, представляющих клинический интерес, доступны для биофизического анализа, и многие заболевания, например муковисцидоз, удалось свести к дефекту в функционировании ионных каналов.

Новый уровень точности измерений, обеспечиваемый методом регистрации на целых клетках, привел к исследованиям электрических сигналов в центральной нервной системе. Громоздкость обычного метода фиксации потенциала позволяла экспериментировать только с изолированными нейронами. Получаемые при этом результаты имели ограниченное биологическое значение, поскольку клетки были лишены контактов с их природными соседями. Кроме того, каналы, обнаруживаемые в культивируемых клетках, могут быть не идентичны тем, которые преобладают в интактном органе. Такая неоднозначность особенно нежелательна при изучении клеток центральной нервной системы, которая характеризуется чрезвычайно высокоорганизованным строением и специфичностью. Учитывая это, мы разработали применение метода регистрации на целых клетках к нервной ткани при сохранении контактов нейронов со своими

природными соседями. П. Андерсон из Университета в Осло и Т. Такахаси из Университета в Киото предложили технику получения небольших (около 1 см) интактных срезов ткани мозга. Поверхность нейронов на таких срезах освобождалась от глиальных клеток и других адгезивных компонентов ткани путем осторожного промывания в специальном растворе. После этого к обнаженному телу нервной клетки подводили кончик пэтч-пипетки и попавший в него участок клеточной мембраны разрушали для последующей регистрации на целой клетке. В такой конфигурации синап-

тические токи удавалось регистрировать с разрешением в 10—50 раз более высоким, чем позволяют внутриклеточные микроэлектроды.

Когда в синапсе между двумя нейронами пресинаптические структуры одной клетки выделяют глутамат или другой нейромедиатор, во втором нейроне индуцируются возбуждающие или же тормозные постсинаптические токи (соответственно EPSC и IPSC — от англ. excitatory/inhibitory postsynaptic currents). EPSC увеличивает вероятность возникновения потенциала действия в нейроне и выделения им собственных медиаторов,



СТРУКТУРА КАНАЛА АЦЕТИЛХОЛИНОВОГО РЕЦЕПТОРА непосредственно соотносится с его функцией. Канал состоит из 5 субъединиц, в каждой из которых имеется по четыре трансмембранных сегмента. Сегменты М2 выстилают канал изнутри, подобно бочарным клепок. У эмбрионов млекопитающих в рецепторах ацетилхолина в концевых пластинках нервно-мышечных контактов одна субъединица иная, чем у взрослых. Канал эмбрионального рецептора характеризуется меньшим элементарным током.

IPSC снижает эту вероятность. При регистрации на целых клетках последовательные значения максимальной амплитуды EPSC и IPSC неупорядочно флуктуируют. Значит, эти токи являются результатом почти одновременной суперпозиции квантовых процессов — во многом так же, как ток концевой пластинки в нервно-мышечном контакте.

К своему удивлению, мы обнаружили, что в ответ на квант молекул нейромедиатора, высвобождающийся из одиночной пресинаптической везикулы, открываются всего лишь 20—30% постсинаптических рецепторных каналов. Это на порядок меньше, чем в нервно-мышечном контакте. Можно думать, что в нервной системе такая ограниченность ответа позволяет осуществлять тонкую настройку возбуждающих и тормозных сигналов, поступающих к данному нейрону.

Разрешение этих квантованных процессов в центральной нервной системе позволяет различать пресинаптические и постсинаптические факторы, лежащие в основе изменений синаптической эффективности. Такие

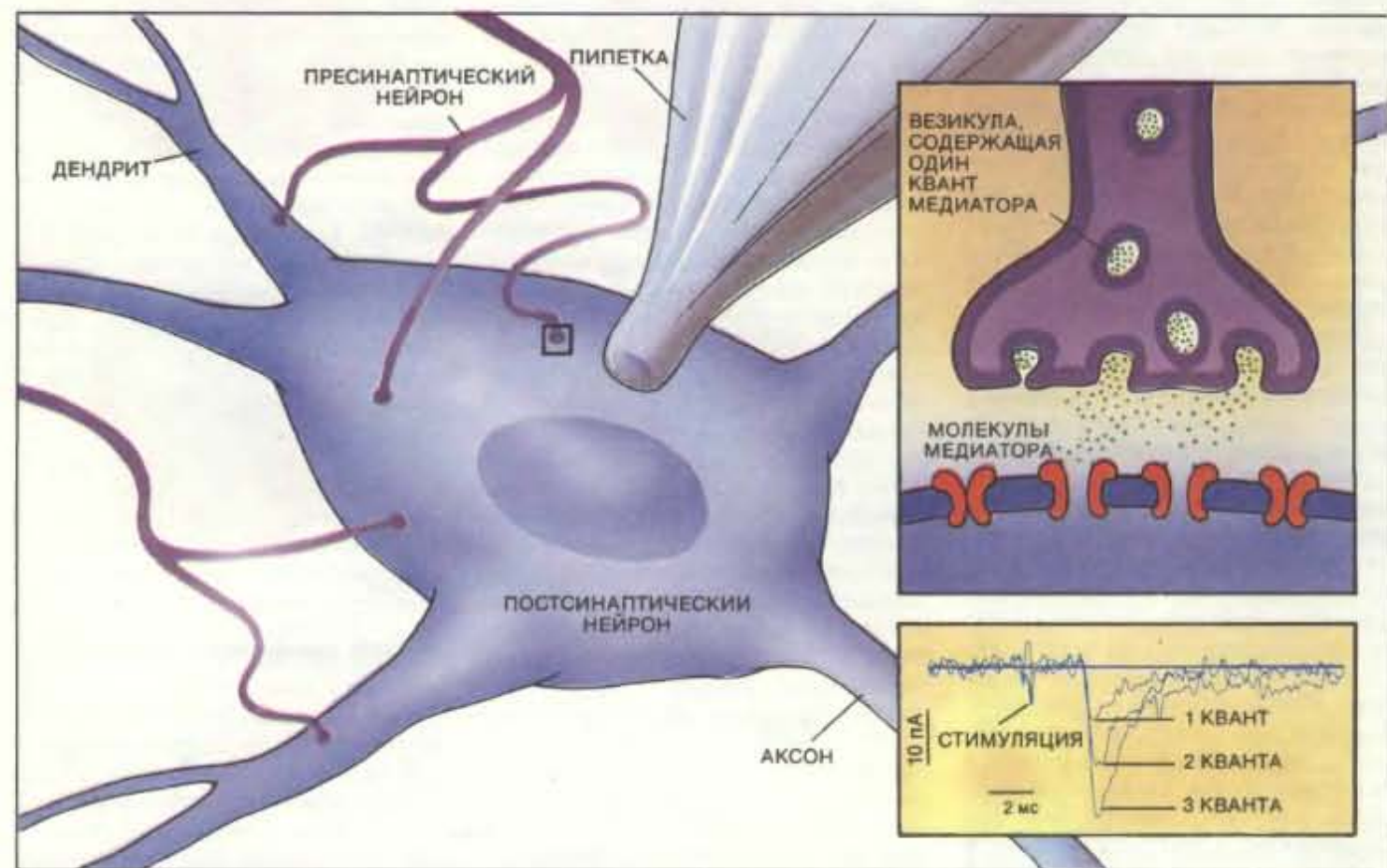
изменения рассматриваются как следствие тренировки нейронов. В связи с этим изучение эффективности синаптической передачи может пролить свет на проблемы обучения и памяти.

ИОННЫЕ каналы являются частью сложной сети сигнальных механизмов, включающей также вторичные посредники — молекулы, способные переносить сигналы от поверхности клеток к внутриклеточным эффекторам путем диффузии через цитоплазму. Активность многих типов каналов, реагирующих в первую очередь на изменения потенциала или концентрации внеклеточных медиаторов, зависит от этих внутриклеточных соединений или модулируется ими. Ионные каналы в свою очередь оказывают реципрокное действие на вторичные посредники: почти все известные в такой роли вещества тем или иным образом взаимодействуют с определенными ионными каналами непосредственно либо через другие молекулы, в том числе ферменты киназы, катализирующие присоединение фосфатных групп, и G-белки, кото-

рые сопрягают рецепторы с ферментами, катализирующими образование многих вторичных посредников.

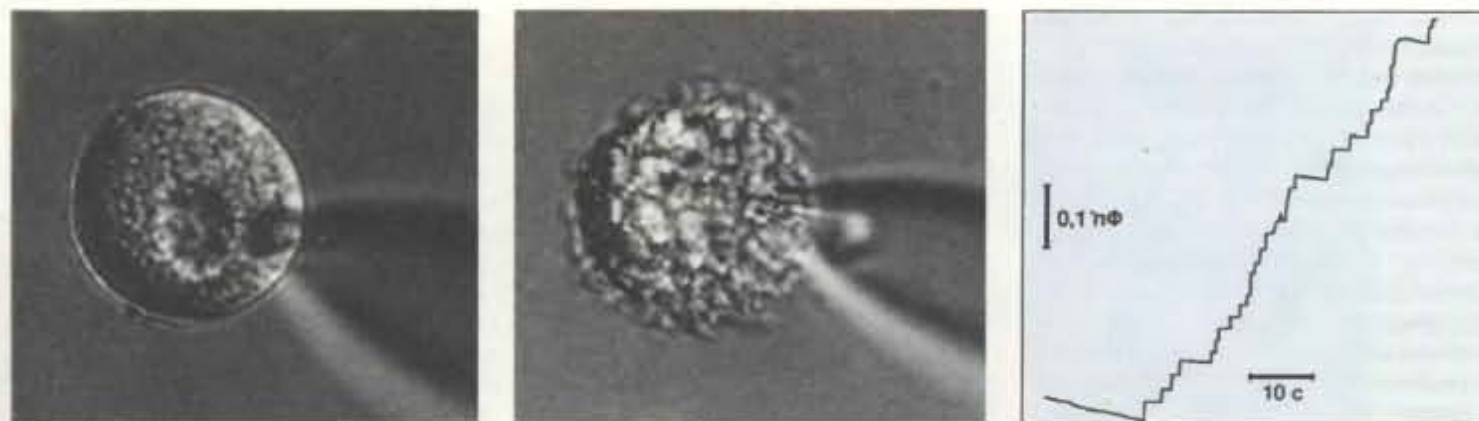
Например, значительная фракция каналов для ионов калия в нейронах зависит как от мембранного потенциала, так и от внутриклеточной концентрации свободных ионов кальция. При низкой концентрации ионов кальция внутри клетки эти каналы не открываются, пока деполяризация (падение мембранного потенциала) не станет очень большой, а при высокой концентрации кальция они начинают открываться при умеренной деполяризации или даже при потенциале покоя.

Каналы, специфически управляющие потоком кальция внутрь клетки, сами регулируются концентрацией ионов кальция. Они открываются в ответ на деполяризацию, но некоторые типы каналов инактивируются при входе кальция в клетку. Эти связи можно рассматривать как механизм регуляции концентрации кальция по типу отрицательной обратной связи; сам кальций является важным вторичным посредником для многих клеточных процессов.



РЕГИСТРАЦИЯ НА ЦЕЛЫХ КЛЕТКАХ, при которой пэтч-пипетка заменяет обычный микроэлектрод, постигла революционизировала исследования клеток млекопитающих, в частности нейронов. Возникла возможность экспериментировать с небольшими кусочками нервной ткани, в которых соседние клетки сохраняют свои контакты. Метод до-

статочно чувствителен для регистрации возбуждающего или тормозного тока, индуцируемого в нейроне квантом (порцией) молекул медиатора, содержащихся в одиночной пресинаптической везикуле (в рамке справа). (Приведены данные П. Штерна из Института медицинских исследований им. Макса Планка в Гейдельберге.)



ТУЧНАЯ КЛЕТКА (слева) секретирует гистамин и другие соединения в ответ на стимулы, подводимые через пэтч-пипетку (в середине). Используя метод пэтч-кламп, можно измерять изменения емкостного сопротивления плазматической мембраны, соответствующие слиянию с ней оди-

ночной секреторной везикулы. Каждый акт слияния проявляется как ступенька на графике емкостного сопротивления (справа). [Фотографии любезно предоставлены Д. Фернандесом, данные регистрации — В. Олмерсом.]

Неудивительно, что попытки систематизировать столь сложную сеть взаимодействий, включающую петли отрицательной обратной связи и синергизм, наталкиваются на значительные трудности. Регистрация электрической активности, возникающей при стимуляции клеток, оказывается недостаточной для выявления связей в этой сети — необходимо контролировать некоторые внутриклеточные регуляторы.

Метод регистрации на целых клетках позволяет осуществлять такой контроль благодаря возможности воздействия на содержимое клеток. Поскольку отверстие, соединяющее внутреннее пространство пипетки и содержимое клетки, относительно велико, диффузия молекул может легко происходить в обе стороны. Это создает некоторые экспериментальные затруднения. В ранних опытах по регистрации на целых клетках было замечено, что тонкие механизмы регуляции могут попросту вымываться: многие растворимые регуляторные соединения претерпевают практически неограниченное разбавление в относительно громадном объеме измерительной пэтч-пипетки. Только очень прочные каналы остаются интактными.

За несколько лет во многих лабораториях постепенно были установлены необходимые концентрации веществ, которые должны присутствовать в пипетке для поддержания нормального функционирования каналов различных типов. Мало-помалу прояснились запутанные взаимоотношения рецепторов, вторичных посредников и ионных каналов, что позволяло воссоздать некоторые из сигнальных путей.

СИГНАЛ, передаваемый ионным каналом внутрь клетки, часто

включает изменение внутриклеточной концентрации кальция. Мы заинтересовались тем, каким образом реализуется передача таких сигналов и как она вызывает клеточный ответ; с этой целью было решено сфокусировать наши исследования на роли кальция в секреции. В идеале для таких исследований следует измерять одновременно ионные токи, кальциевый сигнал и секрецию отдельной клетки. Сочетание регистрации на целых клетках и метода определения кальция, разработанного Р. Ценом в Калифорнийском университете в Беркли, дает неплохое приближение к этому идеалу. Цзен предложил использовать краситель fura-2, флуоресценция которого изменяется при связывании с кальцием. По этим изменениям можно рассчитать концентрацию свободных ионов кальция.

При помощи метода пэтч-кламп на целых клетках мы регистрировали и ионные токи и секрецию, применив следующий подход. Клетки секретируют производимые ими вещества путем экзоцитоза, который состоит в том, что внутриклеточные везикулы (мембранные пузырьки), где запасается данное вещество, сливаются с плазматической мембраной, а их содержимое освобождается наружу. При этом мембранный материал везикулы включается в плазматическую мембрану, площадь которой в результате увеличивается. Это увеличение легко определить по изменению электрической емкости мембраны, пропорциональной ее площади. Хотя это изменение временное или небольшое по величине, измерения емкости достаточно чувствительны, чтобы можно было заметить слияние отдельных везикул с плазматической мембраной. Для клеток многих типов по этим данным можно выявить

связь между секрецией и внутриклеточной концентрацией кальция, а также электрофизиологическими событиями.

Мы изучали хромоаффинные клетки надпочечников, которые во время стресса секретируют гормоны адреналин и норадреналин. Наши ранние исследования показали, что в этих клетках имеются зависимые от потенциала кальциевые каналы, во многом подобные аналогичным каналам нервных клеток. При стимуляции хромоаффинных клеток электрическими импульсами или ацетилхолином кальциевые каналы открываются и внутриклеточная концентрация кальция повышается, что можно легко зарегистрировать по флуоресценции fura-2. Емкостное сопротивление плазматической мембраны также возрастает, что является сигналом для экзоцитоза.

Если в пипетке присутствует хелатор кальция (т. е. соединение, связывающее ионы кальция), то подавляется как повышение внутриклеточной концентрации кальция, так и возрастание емкостного сопротивления мембран хромоаффинных клеток. При увеличении концентрации свободного кальция в пипетке наблюдается повышение концентрации кальция внутри клеток и емкостного сопротивления. Все эти результаты свидетельствуют, что секреция гормонов хромоаффинными клетками подчиняется тем же закономерностям, какие были установлены Катцем и Миледи для выделения ацетилхолина в нервно-мышечных контактах.

КОГДА МЫ попытались распространить эти исследования на невозбудимые секреторные клетки, обнаружилась удивительная связь между кальцием и секрецией. Для этих исследований были выбраны тучные

клетки, присутствующие в соединительной ткани. При стимуляции гормонами или антигенами (чужеродными молекулами) эти клетки секретуют гистамин и другие соединения, участвующие в воспалительной реакции и иммунном ответе. Тучные клетки особенно подходили для наших опытов, поскольку они заполнены плотно упакованными крупными секреторными гранулами. После стимуляции в клетках наблюдается очень интенсивный экзоцитоз: клеточная поверхность, как правило, увеличивается в 2 — 4 раза за 10 — 20 секунд.

В ходе деградации (высвобождения запасов гранул путем экзоцитоза) емкостное сопротивление плазматической мембраны тучных клеток ступенчато увеличивается, причем каждая ступенька отражает одиночный акт слияния мембраны гранулы с клеточной мембраной. Однако регистрируемые изменения не одинаковы: их амплитуда варьирует вблизи некоторого среднего значения. Эти вариации отражают различия в размерах гранул.

К нашему удивлению, повышение концентрации ионов кальция внутри тучных клеток не усиливало секрецию, как это имело место в возбудимых клетках. Вначале мы объясняли это утечкой из клеток незаменимых молекул. Но позднее оказалось, что для тучных клеток нужны иные стимулы: определенные гормоны и антигены, воздействуя на такую клетку из-

вне, могут вызвать мощную секрецию либо сами по себе, либо синергично сигналам внутриклеточного кальция.

Все эффективные стимулы непременно вызывают резко выраженный кальциевый сигнал — моментальное увеличение внутриклеточной концентрации кальция более чем на порядок, после чего происходит секреция. Временный всплеск концентрации кальция обусловлен главным образом его высвобождением из внутриклеточных депо. Кроме этого, в клетку входит кальций снаружи через не зависящие от потенциала каналы, но этот процесс не вносит существенного вклада в секреторный ответ. Даже если внутриклеточная концентрация кальция фиксируется на низком уровне благодаря включению в содержимое пэтч-пипетки хелатирующей смеси, адекватная стимуляция клетки снаружи вызывает ее полную деградацию.

Тем не менее внутриклеточная концентрация кальция оказывает влияние на тучные клетки. При очень высокой ее величине секреция все же начинается после некоторой задержки. Этот факт лежит, по-видимому, в основе многих публикаций об индуцированной кальцием секреции в результате инъекций кальция или молекул, обеспечивающих вход кальция в клетку. Кроме того, после гормональной или иной стимуляции чувствительность клеток к кальцию заметно уве-

личивается: последующее повышение его внутриклеточной концентрации ускоряет наступление деградации. Следовательно, в тучных клетках кальций является лишь одним из нескольких регуляторов секреции.

Все последние данные свидетельствуют, что секреторные процессы происходят под контролем сети взаимодействующих сигнальных путей, во многом подобных тем, которыми модулируются ионные каналы. Компоненты этой сети, по-видимому, те же самые: в первую очередь кальций (особенно в нейронах и некоторых других типах клеток), вторичные посредники, киназы и, вероятно, G-белки. Регулирующие секрецию взаимодействия сейчас лишь начинают проясняться, но очертания сети, управляющей ионными каналами, более менее установлены — главным образом благодаря методу пэтч-кламп.

В заключение следует отметить, что чрезвычайная чувствительность метода пэтч-кламп позволяет выявлять молекулярные детали функционирования каналов. Эта техника также открывает возможность изучения мельчайших клеток млекопитающих и их сигнальных путей, которые прослеживаются благодаря контролю внутриклеточной среды. Метод весьма результативен и в то же время довольно прост. Мы надеемся и ожидаем, что чем больше исследователей будут его использовать, тем больше откроется клеточных секретов.

— В ней не будет внезапных потрясающих открытий. Здесь придется по-пытаться».

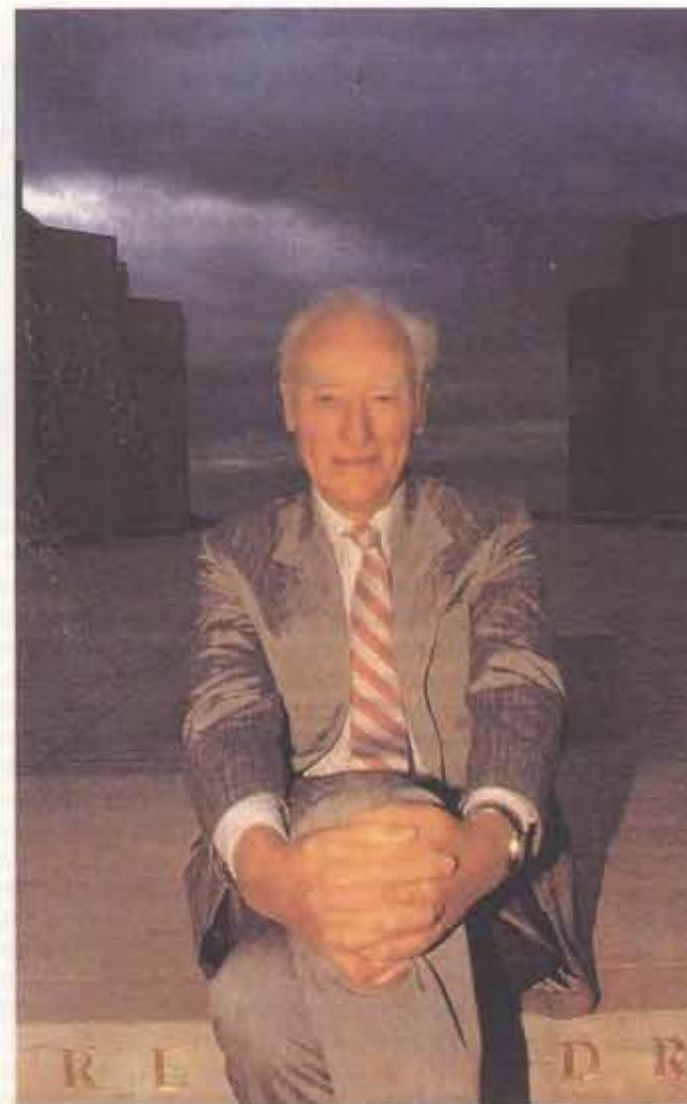
Эксцентризм Крика легендарен. «Я никогда не видал Фрэнсиса Крика сдержанным», — насмешливо замечает Уотсон в первой же фразе своей «классической» книги «Двойная спираль» («The Double Helix»), представляющей собой воспоминания об открытии структуры ДНК. Сам же Крик полагает, что если его иногда и заносит, так это от неудержимого стремления докопаться до сути вещей. «Я могу терпеть минут двадцать, — говорит он. — Но не больше».

Крик рано воспринял научный материализм. Родившись в 1916 г. в семье конгрегационалистов из среднего класса в Нортгемптоне (Великобритания), он к 12 годам отказался от религии и стал «агностиком, предубежденно относящимся к атеизму». Его карьера биолога расцвела не сразу. Сначала он изучал физику в Университете Колледже в Лондоне, а во время второй мировой войны разрабатывал мины для Британских вооруженных сил.

После войны, решив, что его больше интересует биология, он поступил в одну из кембриджских лабораторий, где занимались исследованием структуры органических молекул путем рентгеновской кристаллографии. Недолго думая, Крик раскритиковал применявшиеся в то время методы и предложил альтернативные. Его коллеги, поборов раздражение («Крик, Вы раскачиваете лодку», — ворчал, выслушав одно из его полозрительных критических замечаний, выдающийся ученый Лоренс Брэгг, руководивший этой лабораторией), поняли, что он прав, и приняли его предложения.

Когда Крик вместе с Уотсоном открыл структуру ДНК, ему было 37 лет, и оставался еще год до получения степени доктора философии. Он отмечает, что в противоположность представлению, создаваемому большинством более поздних работ, лишь немногие ученые сразу же поняли значение их открытия. Уотсон и Крик получили Нобелевскую премию (совместно с Морисом Х.Ф. Уилкинсом, обеспечившим их данными рентгеновского анализа) только в 1962 г.

К этому времени Крик и другие ученые продемонстрировали, каким образом в ДНК записана информация об аминокислотах, из которых построены белки. В 1961 г. в один из своих редких набегов в лабораторию (хотя и «экспериментатор в душе», Крик обычно довольствуется интерпретацией или предсказанием результатов



ФРЭНСИС КРИК надеется показать, как работает неуловимое сознание. (Фотография: Дж. Ароновски.)

Наука и общество

Фрэнсис Х.К. Крик: Мефистофель нейробиологии

ВО ФРЭНСИСЕ Харри Комптоне Крике есть что-то почти сверхъестественно веселое. Уголки глаз и рта у него все время морщатся в саркастической ухмылке. Кустистые белые брови торчат, как рога. Его румяное лицо вспыхивает еще ярче от смеха, а смеется он часто и со вкусом. Крик кажется особенно радостным, когда разбивает в пух и прах какой-нибудь плод тенденциозного и нечеткого мышления вроде моей тщетной надежды на то, что мы, люди, обладаем свободой воли.

По мнению Крика, даже такая, казалось бы, простая вещь, как зрительное восприятие, включает в себя сложнейшие нервные вычислительные процессы. «То же самое можно

сказать о том, как делается любое движение. Например, вы берете авто-ручку, — продолжает он со своим преувеличенно размеренным английским акцентом, хватая одну со своего стола и размахивая ею передо мной. — Масса вычислений должна совершиться, чтобы подготовить вас к этому движению. Вы сознаете только свое решение, а что заставило его принять, от сознания скрыто. Вам это кажется свободой, а на самом деле является результатом неосознанных факторов и процессов».

Речь и мефистофельская улыбка Крика соответствуют его репутации одного из самых безжалостных редуccionистов в современной науке. Этот ныне 75-летний биолог-теоретик прославился в 1953 г. совершенным совместно с Джеймсом Д. Уотсоном открытием спиральной структуры дезоксирибонуклеиновой кисло-

ты, что дало молекулярный «ключ к черному ящику» наследственности. Крик продолжил эту работу и показал, каким образом в ДНК кодируется генетическая информация. Он не без успеха занимался также проблемами биологии развития и происхождения жизни.

Однако в течение последних 16 лет, с тех пор как Крик перебрался из Кембриджского университета в Великобританию в Солковский институт биологических исследований в Ла-Хойя (шт. Калифорния), его внимание приковано к самому черному из всех черных ящиков — головному мозгу. Главную цель он видит в том, чтобы разложить по винтику механизм духа, или сознания; по его мнению, до сих пор нейробиологи незаслуженно пренебрегали этой стороной мозговой деятельности. «Эта область несколько консервативна, — говорит Крик.

чужих экспериментов) он показал, что «триплет» оснований ДНК кодирует одну аминокислоту. Для признания некоторых из его гипотез потребовалось гораздо больше времени. В октябре прошлого года в журнале «Science» группа исследователей сообщила, что структура присутствующая в мышцах, волосах и костях белков обширного класса, которые, как недавно установлено, связаны с развитием рака и регуляцией генов, полностью соответствует предсказанной Криком в его докторской диссертации.

В конце 1960-х годов Крик переключился с генетики на биологию развития, которая изучает «мистическое» превращение комка клеток в плодую мушку, кашалота или человека. Занявшись этим, он более или менее со стороны — и с изумлением — наблюдал, как в 1970-е годы исследователи начали разрабатывать мощные методы манипулирования генами. На вопрос, должно ли, по его мнению, человечество использовать эти знания для улучшения своей наследствен-

ности, он отвечает: «Можно сказать, обязано».

Но сначала, как он считает, людям нужно избавиться от устаревших взглядов, особенно связанных с религией. «Одна из самых страшных вещей в западном мире и в США особенно — это то, что множество людей верят в несостоятельные с научной точки зрения домыслы, — говорит он. — Если кто-нибудь скажет, что Земле меньше 10 тысяч лет, то, по моему, ему надо обратиться к психиатру».

То же самое говорили о Крике в 1981 г. после появления книги «Сама жизнь» («Life Itself») о возникновении жизни, написанной им в соавторстве с Лесли Орджелом из Солковского института. В ней предполагается, что «семена» жизни были занесены на Землю космическим кораблем, запущенным существами с другой планеты. Эта теория так называемой «направленной панспермии» встретила насмешки других ученых, и сам Орджел назвал ее недавно «своего рода шуткой». Однако Крик настаивает, что, учитывая слабость всех теорий

земного происхождения жизни, направленную панспермию все же следует считать «серьезной возможностью».

Устойчивый интерес к головному мозгу появился у Крика в 1976 г. Его вклад здесь во многом связан с сокрушительной критикой подходов, которые он считает неверными. Например, Крик предупреждает о «пагубном влиянии» компьютерных моделей мозга, подчеркивая, что компьютеры сконструированы по логическим и математическим схемам, тогда как естественный отбор лепит организмы из чего попало и как попало — «лишь бы работало».

Крик скептически смотрит также на некоторые аспекты «нервных сетей», т. е. компьютеров, перерабатывающих и накапливающих информацию не последовательно (в каждый данный момент только в одном месте), а параллельно во многих местах наподобие того, как, по общему мнению, работает мозг. Он особенно неодобрительно относится к модели нервной сети головного мозга, называемой «нервным дарвинизмом». Предложенная биологом Джералдом Эдельманом из Рокфеллеровского университета, она исходит из того, что мышление возникло в результате конкуренции между группами нейронов, соответствующими разным следам памяти.

Крик публично обвинил Эдельмана в маскировке не слишком оригинальных идей «дымовой завесой жаргона». Эдельман, обладающий, подобно Крику, не только Нобелевской премией, но и прочным самоуверением, в свою очередь нашел его критику неконструктивной. Этим летом он переходит в Скриппсовский институт, который находится в двух шагах от Солжовского. Крик исключает ожидаемую конфронтацию. «Я не считаю нас соперниками, — говорит он и добавляет, точно рассчитав паузу. — Но, думаю, он считает».

Однако Крик допускает, что исследования нервных сетей могут быть плодотворными. В 1983 г. он вместе с Гремом Митчисоном из Кембриджского университета заметил, что компьютерная модель таких сетей при перегрузке данными иногда выдает «псевдовоспоминания», фактически являющиеся комбинациями реальных следов памяти. Они предположили, что мозг способен специально использовать такой механизм во время сна, чтобы снизить перегруженность информацией; результатом этого будут сновидения.

Основные усилия Крика как нейробиолога были посвящены феномену еще более непонятному, чем сновиде-

ния. Уже на ранних этапах работы в этом направлении он решил сосредоточиться на зрительных представлениях как «дублире» сознания, поскольку литературы по зрению было много и объем ее быстро рос. По предположению Крика в основе всех форм сознания, включая сенсорное восприятие, эмоции и абстрактное мышление, лежит один фундаментальный механизм, сочетающий внимание с кратковременной памятью.

Феномен внимания охватывает не только простую переработку информации. Чтобы продемонстрировать это, Крик вытаскивает лист бумаги со знакомым всем черно-белым узором, который кажется то белой вазой на черном фоне, то двумя обращенными друг к другу черными силуэтами человеческого лица в профиль. Хотя в данном случае зрительная информация, поступающая в мозг, остается одной и той же, она воспринимается по-разному. Какие изменения в мозге соответствуют этому переключению внимания?

Крик и нейробиолог Кристоф Кох из Калифорнийского технологического института дали свой ответ на этот вопрос в 1990 г. на страницах издания «Seminars in the Neurosciences». Они отметили открытие, сделанное двумя группами немецких исследователей: когда кошка воспринимает какую-то сцену, некоторые нейроны в ее зрительной коре генерируют электрические импульсы исключительно быстро — примерно 40 раз в секунду. Эти импульсирующие нейроны, как предположили Крик и Кох, соответствуют тем аспектам сцены, на которые животное обращает внимание. Если представить себе весь набор нейронов, стимулированных данной сценой, как огромную шумящую на разные лады толпу, то пульсирующие нейроны — это группа тех, кто внезапно начинает «гудеть» в одном ключе. В случае узора типа ваза—силуэт сначала «гудит» группа нейронов, соответствующая вазе, а затем они возвращаются к беспорядочному шуму и включается группа, соответствующая силуэтам.

У Крика по поводу этой теории есть кое-какие сомнения. В упомянутых опытах немецких ученых импульсация наблюдалась у частично анестезированных кошек; в дальнейших экспериментах, в которых использовались уже полностью бодрствующие животные, такой импульсации в областях, ожидавшихся Криком и Кохом, не обнаружилось. Но ведь, как отмечает Крик, структура ДНК была расшифрована только после многочисленных «фальстартов». «Научное исследование в действительности по-

хоже на работу в тумане. Продвигаться прямо-таки на ощупь. А потом другие, узнав о результатах, удивляются, каким прямым был путь».

Даже Крик соглашается, что, возможно, существуют пределы познания мышления с помощью точных наук. Например, именно из-за того, что головной мозг является детерминистской системой, он не может быть полностью предсказуемым; стохастическая теория продемонстрировала это для многих сложных систем. Не исключено также, что сознание включает в себя процессы, которые, как квантовая физика, парадоксальны и крайне трудны для понимания. Кроме того, существуют «качества» (этот термин используется философами для обозначения таких аспектов восприятия, как, скажем, цвет), познаваемые в определенном смысле только субъективно.

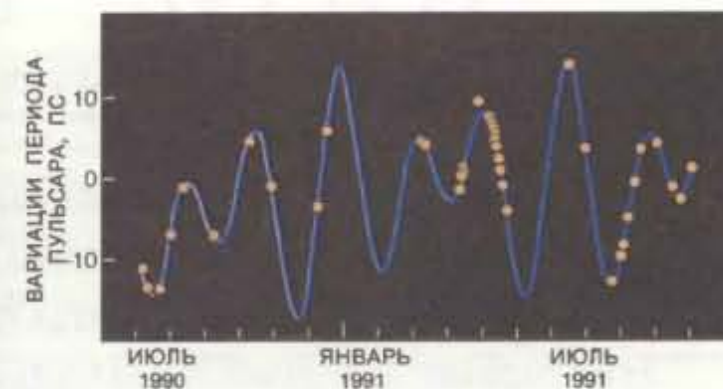
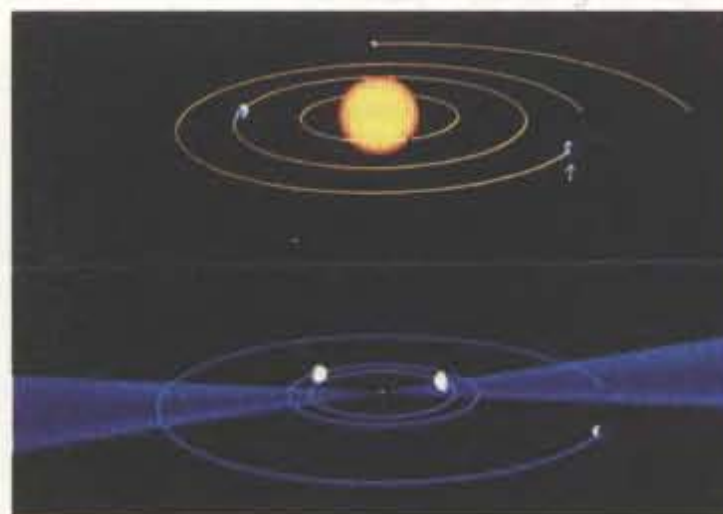
Эти тонкие лазейки в непреклонном материализме отчасти утешили меня к концу нашей беседы. Однако потом, когда Крик провозжал меня из своего кабинета и мы проходили мимо стола с объемистой стопкой бумаг на нем, он упомянул, что это первые наброски его книги о мозге с рабочим названием «Поразительная гипотеза» («The Astonishing Hypothesis»), и с сколько напускной беззаботностью предложил, если у меня есть желание, взглянуть на первый абзац. Естественно, я с благодарностью согласился.

«Поразительная гипотеза, — говорит там, — состоит в том, что ваши радости и печали, ваши воспоминания и амбиции, ваше чувство собственного «Я» и свобода воли — все это фактически не более чем проявление деятельности огромного комплекса нервных клеток и связанных с ними молекул. Как выразила бы это Алиса из сказок Льюиса Кэрролла, вы просто мешок нейронов». Я смотрю на Крика: на его лице ухмылка до ушей.

Джон Хорган

Неподходящее место

ИСКАТЬ повсюду только для того, чтобы найти в самом неподходящем месте? Астрономы, ведущие поиск признаков планет, обращающихся вокруг других звезд, знают, что это такое. В течение десятилетий они выбирали звезды, подобные Солнцу, для поиска планетных систем типа нашей Солнечной системы. Эти попытки оказались безуспешными. А первые существенные свидетельства в пользу существования далеких планет



ПЛАНЕТЫ, обращающиеся вокруг пульсара (слева внизу), распределены по тому же закону, что и планеты во внутренних областях Солнечной системы (слева сверху). Существование этих планет следует из вариаций радиоизлучения пульсара (вверху).

были найдены исследователями пульсаров — этих крошечных, сверхплотных быстровращающихся «звездных огарков», остатков взрывов сверхновых.

В январе А. Волшчан из Обсерватории Аресибо в Пуэрто-Рико и Д. Фрейл из Национальной радиоастрономической обсерватории сообщили, что вокруг пульсара PSR 1257 + 12 (в этом обозначении зашифрованы координаты пульсара на небе) обращаются две или, может быть, три планеты. Этот пульсар, находящийся на расстоянии около 1500 св. лет в созвездии Девы, был открыт Волшчаном в феврале 1990 г.

Вскоре после своего открытия Волшчан обратил внимание на странное поведение PSR 1257 + 12. При вращении пульсаров их мощные магнитные поля генерируют резкие всплески излучения, регистрируемые на Земле. Радиопульсы пульсаров, как правило, высокостабильны. Но радиопульсы от PSR 1257 + 12 иногда слегка опережают «расписание», а иногда, напротив, немного запаздывают. Кроме того, эти отклонения происходят не случайным образом — выявляются два накладываются друг на друга цикла с периодами 98,2 и 66,6 земных суток.

Волшчан предположил, что причиной таких периодических вариаций служат два невидимых объекта, обращающихся вокруг пульсара. Когда пульсар оказывается близко к Земле, его излучению требуется меньше времени, чтобы достичь Земли, поэтому сигналы прибывают раньше, и наоборот. На основе этих малых (всего около 900 км) колебаний пульсара Волшчан и Фрейл пришли к выводу, что невидимые тела — это не звезды, а планеты массами около трех земных.

История поиска планет вокруг других звезд изобилует ложными открытиями, в том числе и пульсаров с пла-

нетами. В июле 1991 г. группа радиоастрономов из Манчестерского университета открыла планету у другого пульсара, PSR 1829-10, но 15 января 1992 г. А. Лайн, один из членов группы, сообщил Американскому астрономическому обществу, что в их данных содержалась небольшая ошибка в измеренном положении пульсара.

Тем не менее астрономы отнеслись с доверием к открытию Волшчана и Фрейла. А. Расио, который в сотрудничестве с Корнеллским университетом разработал тест для проверки реальности планет, заявляет, что «в существовании планет нет никаких сомнений». Расио указывает, что убедиться в существовании планет у пульсаров довольно легко. Гравитационное взаимодействие планет должно вызывать возмущения их орбит, что ведет к отчетливым и уникальным изменениям во временах прибытия сигналов от пульсаров. Такие изменения должны выявляться в пределах одного — трех лет. Если это будет именно так, «реальность существования планет будет неопровержимой», — говорит Расио.

Остается вопрос о природе образования планет на орбите вокруг пульсара. Многие теоретики вздохнули с облегчением, когда Лейн опроверг сообщение о планете у пульсара PSR 1829-10. Взрыв сверхновой, превративший центральную звезду в нейтронную звезду, с неизбежностью разрушил бы или отбросил существовавшие до этого планеты. Поиски разумного объяснения того, как планета могла попасть на орбиту вокруг пульсара PSR 1829-10, оказались сложной задачей. Пульсар молодой, поэтому было мало времени для образования планет, и вращается он медленно, т. е. у него не было возможности для тесного взаимодействия с другой звездой со времени взрыва сверхновой.

Пульсар Волшчана относится к классу чрезвычайно быстровращающихся, так называемых миллисекундных пульсаров: период его вращения составляет 6,2 мс, или 162 оборота в секунду. Считают, что это старые пульсары, которые приобретают вещество от своего близлежащего компонента, что и ведет к увеличению скорости вращения. Остатки газа могут со временем превратиться в планеты.

В настоящее время у PSR 1257 + 12, как у многих миллисекундных пульсаров, нет звездного спутника. Многие теоретики считают, что электромагнитное излучение высокой энергии и поток частиц от пульсара могли разогреть его более крупный и менее проэволюционировавший спутник и даже вызвать его испарение. Действительно, недавно наблюдались два пульсара, испаряющие своих звездных соседей. М. Тавани из Ливерморской национальной лаборатории выполнил расчеты на суперкомпьютере, показывающие, что часть высвободившегося газа может образовать вокруг пульсара устойчивый диск, обеспечивающий «сырье» для образования планет. Планеты могли возникнуть и из остатков разрушенной звезды-спутника.

Очевидно, что некоторые пульсары взаимодействуют со звездами-спутниками. Однако нельзя уверенно утверждать, что такие взаимодействия ведут к образованию планет. Но если окажется, что планетная система у PSR 1257 + 12 — реальность, то это может быть достаточно общим явлением. «Это чрезвычайно волнующее открытие, — говорит С. Вусли из Калифорнийского университета в Санта-Крус. — Возможно, образование планет — не такой сложный процесс, как нам представлялось».

Кори Пауэлл

Текстуры и строение Вселенной

Физика элементарных частиц дает новый ключ к разгадке происхождения структуры Вселенной. Авторы статьи предполагают, что дефекты первичного поля, называемые текстурами, послужили зародышами галактик и их скоплений

ДЕЙВИД Н. СПЕРГЕЛ, НЕЙЛ ДЖ. ТУРОК

ОПИСАНИЕ происхождения и эволюции структуры Вселенной — одна из самых грандиозных и волнующих задач, с которыми столкнулась современная наука. В новых обзорах в распределении галактик обнаруживаются огромные пузыри и слои, простирающиеся на сотни миллионов световых лет. Недавно астрономам удалось открыть очень старые, далекие галактики и квазары. Точные измерения, выполненные с помощью спутника COBE (Cosmic Background Explorer), подтверждают, что все пространство пронизано чрезвычайно однородным микроволновым излучением, по-видимому оставшимся от ранних стадий эволюции Вселенной. Чтобы понять связь этих явлений, космологи привлекают идеи, опирающиеся на физику элементарных частиц. Наиболее популярная из них — модель раздувающейся Вселенной — успешно описывает многие аспекты строения Вселенной. Но модель не позволяет объяснить крупномасштабное сгущение галактик или существование самых квазаров.

Мы исследовали альтернативную идею, которая, по нашему мнению, должна была полностью объяснить фазу инфляции (раздувания), исключив ее основные недостатки. Наша гипотеза связана с механизмом нарушения симметрии — главным процессом в теориях физики элементарных частиц. Нарушение симметрии ведет к образованию космических неоднородностей, называемых текстурами, которые появились, по-видимому, вскоре после образования Вселенной. Текстуры могут служить зародышами агрегатов вещества, превращающегося в ходе эволюции в галактики и их скопления. Из гипотезы текстур следует ряд предсказаний, которые в ближайшее время должны быть проверены данными наблюдений.

Попытки понять события первых мгновений после рождения Вселенной могут показаться претенциозными.

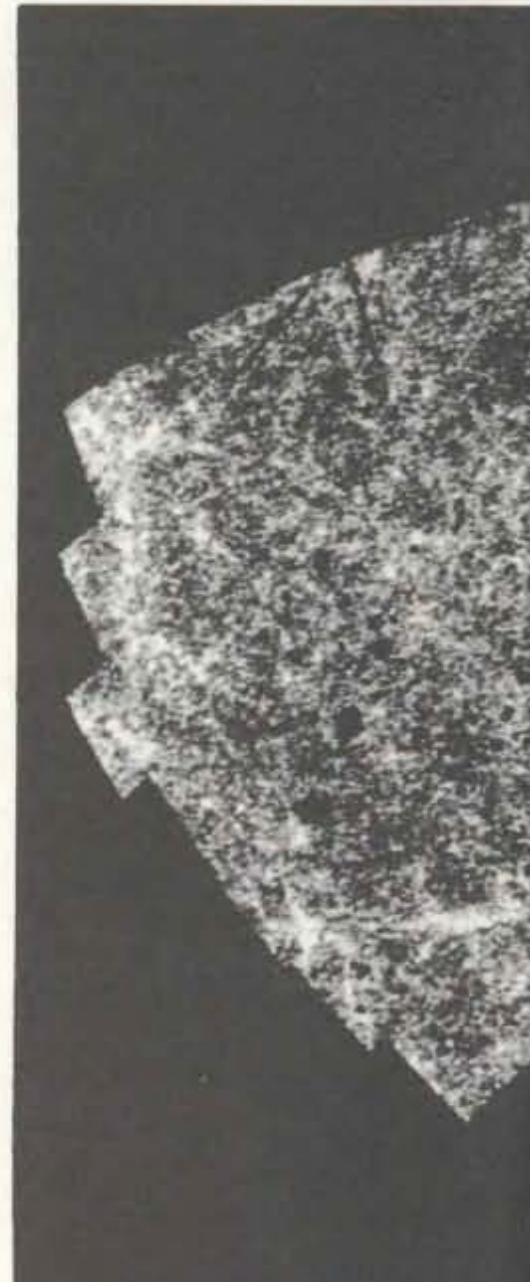
Тем не менее теория расширяющейся Вселенной (модель Большого взрыва) — концептуальная база современной космологии — в последние годы интенсивно развивалась. Она обеспечивает простое и эффективное описание физических условий на предшествующих стадиях эволюции вплоть до момента творения.

Согласно стандартной космологической модели, Вселенная, включая всю материю и все пространство, возникла в виде точки бесконечно малых размеров 10—20 млрд. лет назад и с тех пор непрерывно расширяется. Основным свидетельством в пользу стандартной космологической модели служит наблюдаемое расширение Вселенной. Удаленные галактики выглядят более красными, чем наши ближайшие соседи. Это означает, что испускаемый ими свет смещается в длинноволновую сторону, по мере того как они удаляются друг от друга. Обратив картину расширения во времени, можно установить, что Вселенная в начале расширения была горячей и плотной. Современная Вселенная пронизана микроволновым излучением, оставшимся от этих ранних стадий ее эволюции. Недавно проведенные на спутнике COBE наблюдения показали, что энергетический спектр микроволнового фонового излучения очень близок к предсказанному теорией расширяющейся Вселенной, что подтверждает предположение об очень высоких температурах и плотностях в ранней Вселенной.

Наиболее примечательно то, что в стандартной космологической модели хорошо предсказывается относи-

СКУЧИВАНИЕ МАТЕРИИ во Вселенной озадачивает теоретиков, которые считают, что вещество в ранней Вселенной было распределено очень равномерно. На этой карте, охватывающей 10% небосвода, нанесены 2 млн галактик (белые точки), расположенных на расстояниях до 2 млрд. св. лет.

тельное содержание легких элементов (водорода, дейтерия, гелия и лития) в современной Вселенной. На основе этих предсказаний космологи пришли к выводу, что должно существовать не более четырех семейств элементарных частиц; проведенные недавно эксперименты подтвердили существова-



ние только трех из них.

Эти впечатляющие достижения убедили большинство физиков и астрономов в том, что по крайней мере в первом приближении стандартная космологическая модель верна. Но вопрос о происхождении структуры Вселенной остается открытым. Простейшее объяснение состоит в том, что в результате какого-то процесса (например, образования текстур) в ранней Вселенной возникли первичные вариации плотности. В областях повышенной плотности гравитационные силы более эффективно тормозят общее расширение. Иногда гравитация преобладает над расширением и такие области начинают сжиматься. Со временем гравитация может многократно увеличить первичные флуктуации плотности, составлявшие 1/10000 плотности таких структур, как галактики, скопления и сверхскопления галактик.

Обзоры крупномасштабного рас-

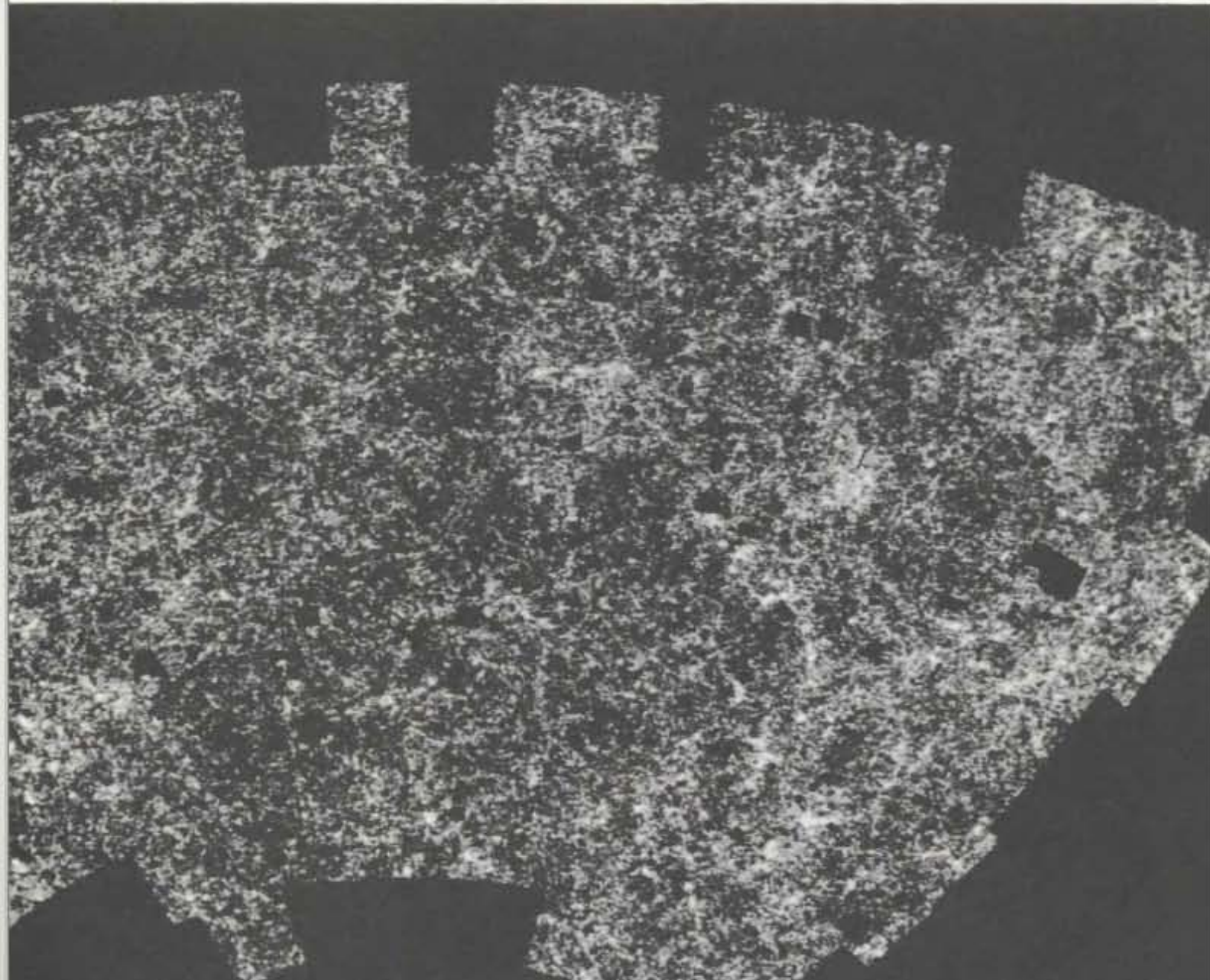
пределения галактик показывают, как неоднородна современная Вселенная. Галактики проявляют тенденцию к сгущению, образуя слои и сгущения, которые окружают более «бедные» области — войды (пустоты). Основная трудность в интерпретации данных этих наблюдений состоит в том, что распределение видимых галактик, возможно, не совпадает с общим распределением вещества. Это позволяет считать, что вещество во Вселенной существует не только в форме светящихся звезд и газовых облаков, но и в форме невидимого, так называемого темного вещества.

НАБЛЮДЕНИЯ орбитальных движений звезд и газа во внешних областях галактик указывают на то, что каждая галактика окружена гало из темного вещества, масса которого по крайней мере в 10 раз больше массы видимых областей. Изучение движений галактик в скоплениях и не-

скольких тысячах соседних с нами галактик также свидетельствует о гравитационном притяжении невидимого вещества.

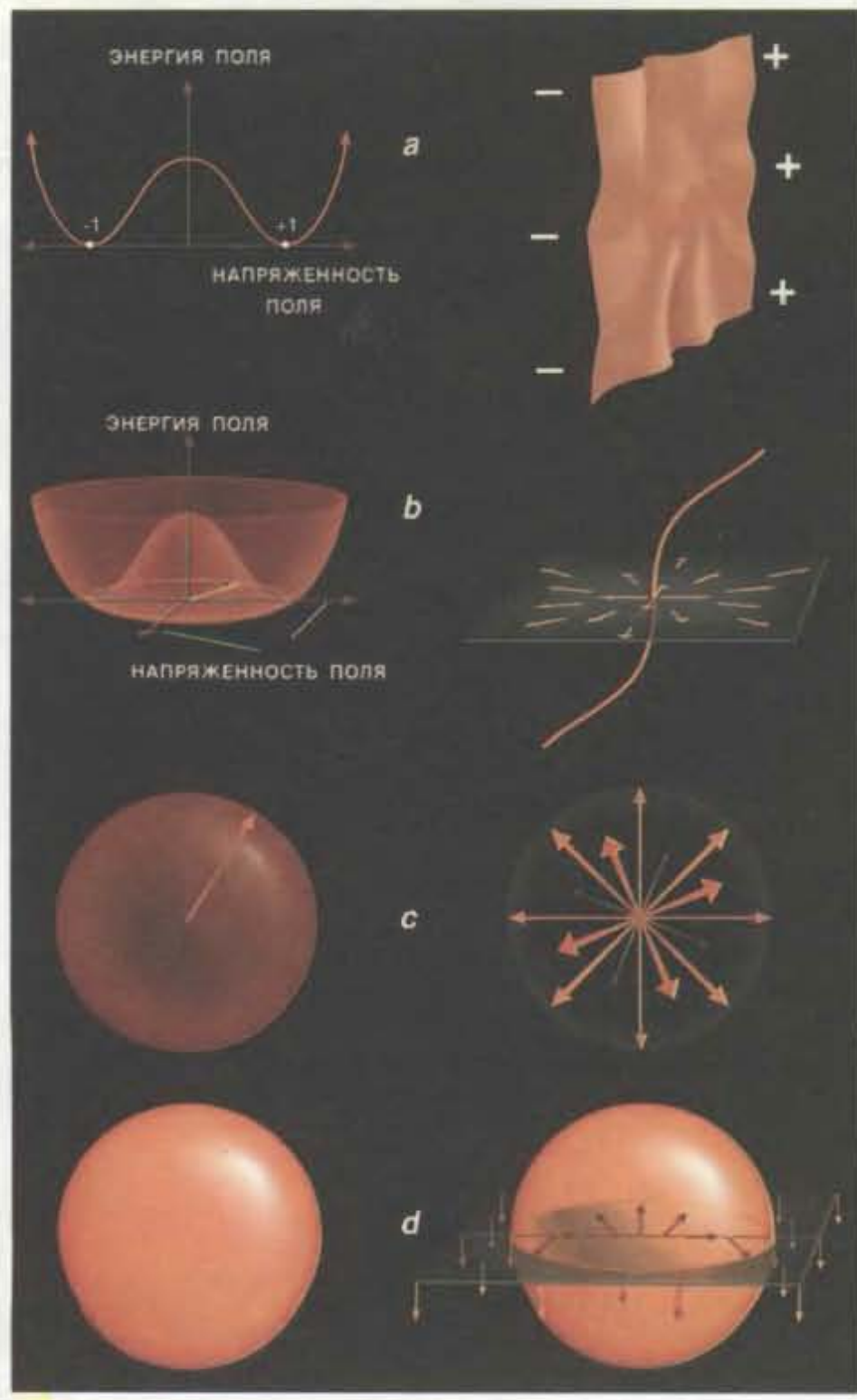
Природа темного вещества остается неизвестной, это наиболее трудная проблема космологии. В качестве возможных кандидатов предлагаются объекты от черных дыр и звезд малой массы до различных гипотетических субатомных частиц. Многие космологи считают, что темное вещество имеет низкие тепловые скорости, отсюда другое название — холодное темное вещество. Такое инертное вещество может эффективно сгущаться под влиянием гравитации с образованием объектов от отдельных галактик до огромных сверхскоплений.

В своих попытках понять процессы образования галактик и их скоплений космологи ищут свидетельства сгущения в ранней Вселенной. Одно из направлений поисков — микроволновое фоновое излучение. Локальные вари-



Топологические дефекты

В гипотетическом поле, называемом полем Хиггса, могут существовать деформации четырех типов. Эти дефекты образуются при фазовом переходе, когда поле Хиггса нарушает симметрию. При нарушении дискретной симметрии стенки доменов (а) разделяют области, в которых поле Хиггса принимает различные значения (например, +1 или -1). Образование космических струн (b) происходит тогда, когда в фазе с нарушенной симметрией поле Хиггса может принимать любое направление в двумерном пространстве. При перемещении вокруг космической струны поле Хиггса принимает все эти значения. Монополи (c) появляются тогда, когда поле Хиггса может принимать любое направление в трехмерном пространстве. В центре этих дефектов напряженность поля Хиггса равна нулю. Текстуры (d) образуются тогда, когда поле Хиггса может принимать любое направление в четырехмерном пространстве. На рисунке внизу показан разрез текстуры. Обратите внимание, что стрелки, указывающие направление поля в текстуре, параллельны. В результате текстура может сгладиться, допуская гладкое переадресование окружающего поля.



ции плотности ранней Вселенной должны были привести к вариациям температуры излучения по небесной сфере. Но до сих пор попытки выявить эти температурные вариации не увенчались успехом. Напротив, недавно проведенные измерения микроволнового фона показывают, что ранняя Вселенная была очень однородной. Плотность ранней Вселенной, по-видимому, была однородна с точностью лучше 1/10 000.

Теории происхождения структуры Вселенной должны объяснить наблюдаемое сгущение как видимого, так и темного вещества, причем это объяснение должно согласовываться с наблюдаемой однородностью микроволнового фона. Один из способов объяснения этой однородности — введение гипотетического механизма так называемой инфляции (раздувания). Согласно теории раздувающейся Вселенной, очень ранняя Вселенная подверглась кратковременному, чрезвычайно быстрому расширению (см. статью: А. Гут, П. Сейнхардт. Раздувающаяся Вселенная, „В мире науки“, 1984, № 7). В течение фазы инфляции Вселенная должна стать почти однородной в больших масштабах, поскольку локальные сгущения подвергаются сильному расширению. В то же время микроскопические квантовые флуктуации превратились бы в макроскопические вариации плотности, которые могли положить начало развитию крупномасштабной структуры.

Фаза инфляции — это блестящая идея, опирающаяся на квантовую механику, законам которой подчиняются мельчайшие субатомные частицы, образующие в конечном счете самые крупные структуры во Вселенной. Она согласуется также в разумных пределах с наблюдаемой структурой промежуточных масштабов от галактик (десятки тысяч световых лет) до расстояний между ними (около 30 млн. световых лет).

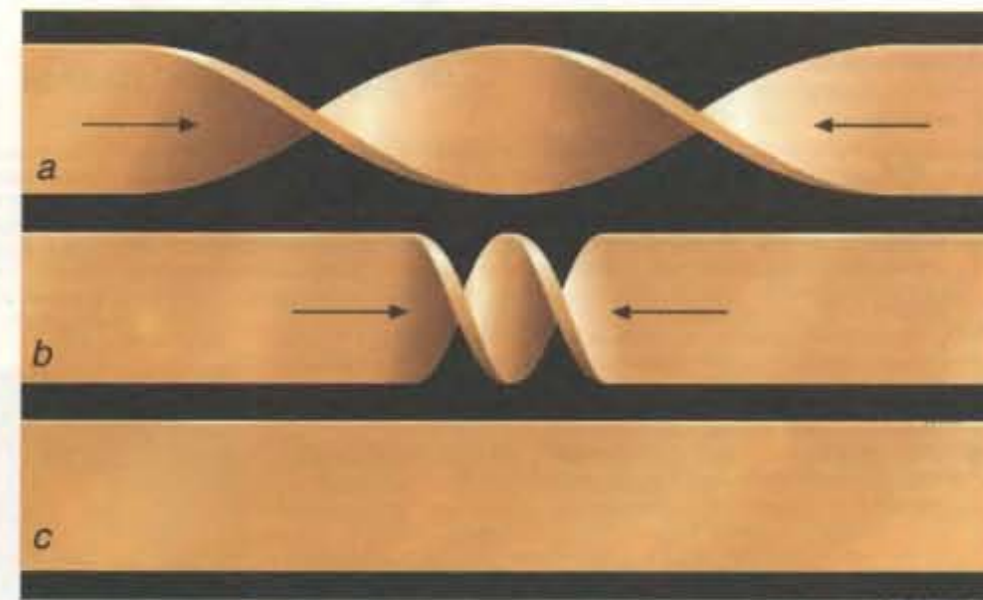
Однако теория раздувающейся Вселенной имеет существенные недостатки. Квантовые флуктуации, как правило, слишком велики, следовательно, чтобы не нарушить стройность теории, необходима подгонка некоторых ее параметров. Кроме того, этой теории противоречат данные наблюдений крупномасштабной структуры. Например, С. Маллок и его коллеги из Оксфордского университета выполнили обзор угловых положений более двух миллионов галактик. Они нашли, что сгущение галактик в очень больших масштабах значительно сильнее, чем предсказывается в наиболее распространенном варианте теории раздувающейся Вселенной.

Мы искали менее сложный подход к пониманию происхождения структуры Вселенной. Сначала мы поставили вопрос: какой физический процесс мог привести к образованию структуры в первоначально однородной горячей Вселенной? Как ни удивительно, наиболее многообещающий ответ дают не исследователи далеких галактик, а исследователи субатомных частиц. Специалисты по физике элементарных частиц показывают, что различие масс и зарядов частиц и существование четырех фундаментальных взаимодействий обусловлены процессом, называемым нарушением симметрии. Отклонения от однородности, необходимые для объяснения современной структуры Вселенной, могли возникнуть вследствие нарушения симметрии.

Хотя нарушение симметрии представляет интерес для космологов, оно впервые было исследовано физиками, стремящимися создать единую теорию, описывающую субатомные частицы и их взаимодействия. Окружающее нас вещество состоит из электронов, протонов и нейтронов. В свою очередь протоны и нейтроны состоят из двух типов кварков. Эти кварки, электрон и электронное нейтрино составляют первое из трех семейств элементарных частиц. Все частицы связаны четырьмя фундаментальными взаимодействиями: электромагнитным, слабым (управляющим радиоактивным распадом), сильным (связывающим протоны и нейтроны в атомные ядра) и гравитационным.

В этом конгломерате частиц и сил выявляется несколько удивительных закономерностей. Частицы обладают определенными зарядами. Все они кратны 1/3 заряда электрона. Частицы в каждом семействе обладают одинаковыми зарядами и различаются только массой. Многие теоретики физики элементарных частиц считают, что повторяющаяся картина в семействах частиц — это проявление законов симметрии, которые не выявляются при низких энергиях. Эти симметрии наблюдаются в экспериментах на ускорителях высоких энергий и могли иметь место в первые мгновения существования Вселенной.

А. Салам из Международного центра теоретической физики в Триесте и С. Вайнберг из Техасского университета в Остине предположили, что симметрия имеет место между электромагнитным и слабым взаимодействиями, электроном и электронным нейтрино и двумя кварками каждого семейства. Многочисленные эксперименты на ускорителях частиц с высокой точностью подтвердили справедливость единой теории элект-



ПЕРЕКРУЧЕННАЯ РЕЗИНОВАЯ ПОЛОСКА иллюстрирует появление и исчезновение текстуры. Ориентация полоски в каждой точке вдоль ее длины является аналогом направления поля Хиггса. Дефект текстуры соответствует одному перекручиванию резиновой полоски на 360° (a). Со временем перекручивание уменьшается, и полоска становится все более гладкой (b). Наконец, перекручивание уменьшается настолько, что полоска разрывается и соединяется вновь без перекручивания (c). Когда текстура сжимается до субатомных размеров, поле Хиггса переадресовывается, устраняя этот дефект.

трослабых взаимодействий. Специалисты по теории элементарных частиц пытаются повторить это достижение, разрабатывая теорию «великого объединения», которые объединяют электрослабые и сильное взаимодействия и связывают свойства электронов, нейтрино и кварков.

Согласно теориям великого объединения, вещество при очень высоких температурах находится в так называемой фазе ненарушенной симметрии, в которой полностью проявляются симметрии между частицами и силами. В теории электрослабых взаимодействий предсказывается, что при температурах выше 10^{15} К электроны становятся идентичными нейтрино и слабое взаимодействие неотличимо от электромагнитного. В теории великого объединения предполагается, что при температурах выше 10^{28} К электроны и нейтрино становятся идентичны кваркам, а электрослабое взаимодействие не отличается от сильного. Наконец, в теориях симметрии семейств утверждается, что при подобных температурах три семейства частиц становятся неотличимыми друг от друга.

При своем рождении Вселенная была исключительно горячей и находилась в состоянии полной симметрии. Но по мере расширения она охлаждалась и ее физическое состояние подверглось ряду последовательных изменений, называемых фазовыми переходами. При каждом фазовом переходе нарушается тот или иной тип симметрии между силами и частица-

ми. Таким образом, Вселенная эволюционирует от фазы, в которой все типы взаимодействий были объединены и частицы симметричны, к современной известной нам фазе, в которой силы и частицы разделены.

Теория утверждает, что фазовый переход, разъединивший слабое и электромагнитное взаимодействия, произошел, когда возраст Вселенной составлял 10^{-12} с, а ее размер составлял всего лишь 10^{-15} современного размера. Выделение сильного взаимодействия произошло по истечении 10^{-36} с от ее рождения, когда размеры наблюдаемой области современной Вселенной не превышали апельсин. Нарушение симметрии (например, симметрии семейств) в ранней Вселенной привело к образованию дефектов, таких, как текстуры.

ФАЗОВЫЕ переходы с нарушением симметрии трудно представить, но в повседневной жизни часто наблюдаются подобные явления. Примером может служить внезапное изменение свойств воды при замерзании или кипении; как и в физике элементарных частиц, такие фазовые переходы часто связаны с изменением свойств симметрии. Жидкая вода характеризуется высоким уровнем симметрии: под любым углом зрения она выглядит одинаково. Лед менее симметричен, чем вода, так как состоит из кристаллов, которые выглядят одинаковыми только при сдвиге на определенное расстояние или при повороте на определенный угол.

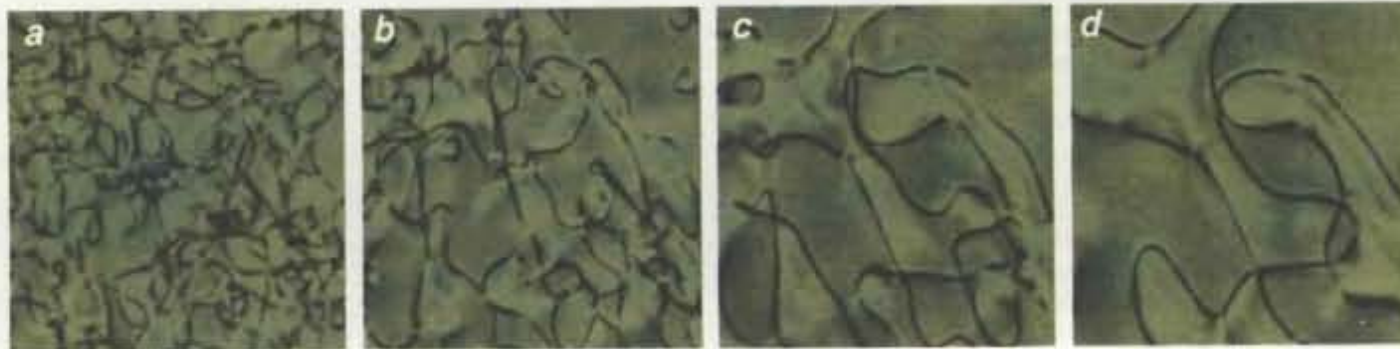
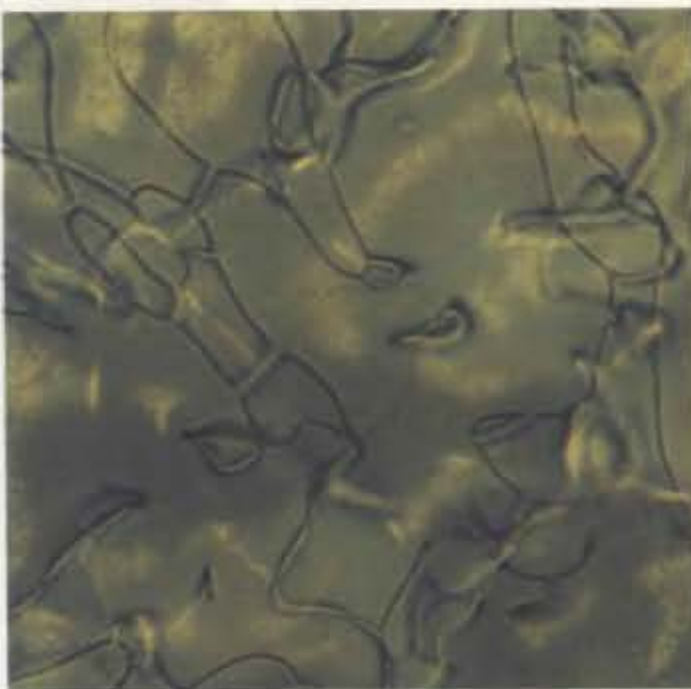
Жидкие кристаллы

Жидкие кристаллы позволяют изучать образование и эволюцию дефектов, очень похожих на те, которые могли существовать в ранней Вселенной. В жидких кристаллах дефекты наблюдаются в виде темных линий и петель (вверху). Показанный здесь жидкий кристалл состоит из стержнеобразных органических молекул. При высоких температурах молекулы ориентированы хаотично, образуя изотропную фазу с ненарушенной симметрией. При низких температурах происходит выстраивание молекул и симметричная фаза нарушается. Дефекты образуются там, где происходит граница раздела областей с разной ориентацией молекул.

Б. Юрк и его коллеги из Bell Laboratories считают, что, как и следовало ожидать, быстрые фазовые переходы в жидких кристаллах приводят к тесному переплетению дефектов. Примечательно, что в этом простом веществе могут существовать три из четырех возможных типов дефектов. В других лабораторных системах, таких, как сверхпроводники или двойные сплавы, образуется лишь один тип дефектов (струны или стенки доменов соответственно). Тонкие темные линии, показанные на рисунках, служат аналогом космических струн. Утолщения вдоль более толстых, более «размытых» струн соответствуют монополиям. Текстуры имеют вид двойных петель, «размытых» от струн; они быстро распадаются с образованием пар монополий.

Последующая эволюция дефектов в жидком кристалле (нижний ряд) прекрасно иллюстрирует идею масштабирования, которая является центральной в теории происхождения структуры Вселенной из дефектов. На фотографиях показан кристалл через 1 с (а), 1,7 с (b), 2,9 с (c) и 4,8 с (d) после начала фазового перехода. В любой из этих моментов картина дефектов в статистическом смысле остается неизменной, но масштаб структур растет. В жидком кристалле

масштаб увеличивается пропорционально корню квадратному из времени. Напротив, масштаб космических дефектов должен расти линейно со временем. В любом случае первоначально мелкие дефекты фазового перехода ведут к появлению все более крупных структур. Если топологические дефекты в ранней Вселенной привели к сгущиванию вещества, то они могли обусловить современную картину распределения галактик.



Когда вода быстро замерзает, она не образует идеальный кристалл, в нем имеются дефекты. Они возникают потому, что по мере замерзания в воде начинают расти крошечные кристаллы льда. В процессе образования каждый кристалл получает случайную ориентацию. Кристаллы растут до тех пор, пока не придут в соприкосновение с другими кристаллами и не заполнят все пространство. Дефекты в такой кристаллической структуре появляются как раз на границах раздела областей различной ориентации. Чем быстрее охлаждается жидкость, тем больше образуется дефектов кристаллической структуры, поскольку кристаллы льда быстрее приходят в соприкосновение друг с другом. Сход-

ный процесс должен был идти в новорожденной Вселенной, по мере того как она быстро охлаждалась, и в ней происходили фазовые переходы с нарушением симметрии.

Фазовые переходы, подчиняющиеся законам физики элементарных частиц, отличаются от фазовых переходов в воде в двух важных аспектах. Во-первых, дефекты льда удерживаются кристаллической структурой в одном положении, а дефекты, предсказываемые теориями элементарных частиц, могут свободно двигаться. Образовавшись, они сразу же начинают как бы расправляться, чтобы свести к минимуму свою энергию. Это явление динамики упорядочения дефектов изучалось в лабораторных

условиях, например на жидких кристаллах (см. текст в рамке вверху).

Во-вторых, фазовое состояние воды определяется расположением ее молекул. В физике элементарных частиц фаза различных частиц и сил определяется состоянием связывающих их полей. Каждая частица и сила связана с соответствующим полем. Помимо хорошо известных электрического и магнитного полей есть электронное, протонное поля и т. д.

Специально для описания нарушения симметрии между силами и частицами теоретики предложили гипотетические поля, называемые полями Хиггса. Поля Хиггса подчиняются тем же уравнениям движения, что и электрическое и магнитное поля, с

тем лишь различием, что поля Хиггса стремятся минимизировать свою энергию посредством равномерного натяжения в пространстве.

Однако в отличие от других полей поля Хиггса не исчезают в низшем энергетическом состоянии, а создают особое (ненулевое) натяжение пространства. Поэтому поле Хиггса нарушает симметрию между силами и связываемыми ими частицами. Этот так называемый механизм Хиггса используется в теориях электрослабых взаимодействий, великого объединения, объединения семейств элементарных частиц и суперсимметрии. Во всех этих теориях дополнительные поля Хиггса вводятся для нарушения симметрии. Так, когда температура падает ниже температуры фазового перехода, вводится соответствующее поле Хиггса, которое нарушает симметрию между электроном и нейтрино и между слабым и электромагнитным взаимодействиями.

Хотя имеются убедительные свидетельства некоторых типов нарушения симметрии, поля Хиггса по-прежнему остаются гипотетическими. Теоретики вводят их только для описания нарушения симметрии, и только это служит единственным свидетельством в пользу их существования.

Одна из основных задач исследований на ускорителях следующего поколения — поиск частицы Хиггса, связанной с электрослабым полем Хиггса. Открытие этой частицы было бы одним из крупнейших достижений в истории физики. Понятна особая заинтересованность физиков в таких исследованиях, поскольку, согласно теории электрослабого взаимодействия, механизм Хиггса ответствен за массы всех известных частиц.

Механизм Хиггса — это не единственный возможный процесс, способный нарушить симметрию между силами и частицами, его следует рассматривать как простейший и лучше всего понятый. Многие описанные здесь следствия нарушения симметрии остаются справедливыми в общем случае и не зависят от деталей механизма Хиггса.

Аналогия со льдом позволяет понять, как поле Хиггса может способствовать образованию текстур, а затем и структуры Вселенной. Подобно кристаллическим плоскостям льда, полю Хиггса можно приписать определенную ориентацию. Магнитное поле нарушает симметрию пространства, указывая с помощью компаса некоторое направление и тем самым выделяя это направление среди других. Поле Хиггса тоже указывает направление, но в более абстрактном смысле. Например, с направленным электрослабым полем Хиггса связано

нарушение симметрии электрон-нейтронного «пространства». Это «направление», в котором частица приобретает массу и становится элементом.

В 1976 г. Т. Киббл из Импириал-колледжа в Лондоне разработал эту концепцию. Он указал, что фазовые переходы с нарушением симметрии сразу после начала расширения из сингулярного состояния (Большого взрыва) могли привести к различным ориентациям поля Хиггса в разных областях Вселенной. Киббл отметил, что во многих теориях великого объединения дефекты поля Хиггса образуются на границе раздела областей с противоположной ориентацией.

Такие области не могут собраться в однородную конфигурацию, но ведут к возникновению мощных локальных концентраций энергии, называемых топологическими дефектами. Такие дефекты привлекли внимание космологов, потому что они способны запасти огромное количество энергии, по сути запоминая условия, существовавшие в ранней Вселенной. Вследствие эквивалентности массы и энергии гравитационное притяжение этих дефектов заставляет вещество сгущиваться. Поэтому теоретики придают большое значение топологическим дефектам и пытаются установить, способны ли они объяснить современную структуру Вселенной.

В современной теории элементарных частиц предсказывается четыре

типа топологических дефектов. Каждый тип тщательно изучался, чтобы определить, может ли он привести к наблюдаемой структуре Вселенной.

Простейший тип топологических дефектов, называемый стенкой домена, возникает в результате нарушения дискретной симметрии (например, зеркальной симметрии). Области пространства с разной величиной поля Хиггса должны быть разделены поверхностями, на которых его величина меняется от одного значения к другому. Эти стенки доменов не имеют края, поэтому они должны образовывать пузыри или бесконечные слои. К сожалению, стенки доменов вовсе не способствуют зарождению космической структуры. Они накапливают такое количество энергии, что если бы они образовались сразу после начала расширения, то очень быстро их масса стала бы преобладающей и осталось бы очень мало вещества для образования таких объектов, как звезды, планеты и живые существа.

НЕПРЕРЫВНЫЕ симметрии играют более важную роль и в космологии и теориях объединения частиц, чем дискретные симметрии. В этом случае поле Хиггса может выделяться набором направлений. Одним из дефектов непрерывной симметрии является выстраивание. Чтобы понять, как может появиться такой дефект, представьте себе, что вы находитесь в



МОДЕЛЬ СТРУКТУРЫ Вселенной, содержащей текстуры, похожа на наблюдаемую картину. По мере сжатия текстур их плотность энергии увеличивается и гравитационные возмущения усиливаются. Видимое вещество (белый цвет) сгущается гораздо сильнее, чем темное, невидимое (черный цвет). Если такое распределение справедливо для реальной Вселенной, то астрономы, возможно, существенно занизили количество темного вещества во Вселенной.

середине огромной толпы людей. Толпа выглядит одинаковой во всех направлениях, иными словами, имеет место симметрия направлений. Пусть толпе дана команда лечь на землю. Сначала все люди лягут в произвольных направлениях, но постепенно они будут подстраиваться к направлению соседей. Тогда окажется, что вокруг вас все лежат в определенном направлении — симметрия направлений будет нарушена.

Если ваши соседи лягут радиально относительно вашего положения, то вам придется остаться стоять. И тогда вы будете иллюстрировать дефект фазы нарушения симметрии. Дефект такого рода, когда поле Хиггса направлено радиально наружу, называется космической струной. Многие теории, занимающиеся проблемой великого объединения, предсказывают существование космических струн. Космические струны должны бесконечно простирались через пространство. Они образуют замкнутые петли или линии, пересекающие Вселенную; похожие дефекты наблюдаются в жидких кристаллах.

В 1979 г. советский физик Я. Б. Зельдович (ныне покойный) предположил, что космические струны можно взять за основу вероятного механизма образования структуры Вселенной. В последующее десятилетие теоретики приложили немало усилий, чтобы понять свойства космических струн. Но А. Альбрек и А. Стеббинс из Национальной ускорительной лаборатории им. Ферми недавно показали, что космические струны и холодное темное вещество могут произвести структуры только в масштабе, много меньшем, чем сгущивание га-

лактик, наблюдавшееся в последних обзорах.

Но если линейные дефекты бессильны, то, может быть, точечные дефекты в состоянии это сделать? Такие топологические дефекты возникают при условии, что поле Хиггса направлено радиально наружу от некоторой точки в трехмерном пространстве. Эти дефекты, называемые монополями, можно сравнить с ошметинившимся перепуганным дикобразом. Один тип монополей, предсказываемый во многих теориях великого объединения, так же, как и стенки доменов, должен преобладать во Вселенной по сравнению с другой материей и поэтому весьма проблематичен. Физики активно исследуют другие типы монополей, свойства которых ближе к свойствам текстур.

В 1989 г. один из нас (Турок) пришел к выводу, что во многих теориях великого объединения предсказываются еще один топологический дефект, называемый текстурой, который может дать начало образованию крупномасштабной структуры и в то же время не обладает недостатками дефектов других типов. Текстуру труднее проиллюстрировать наглядно, потому что она порождается четырехмерным полем Хиггса. Очевидно, ее нельзя нарисовать на бумаге, но можно сделать ее двумерный разрез (см. рисунок на с. 30).

Текстура сильнее «размыта» по сравнению со стенками доменов, струнами и монополями. Текстура не локализована ни в точке, ни в линии, ни на поверхности. У нее нет какого-либо преимущественного размера, возможный диапазон размеров текстур — от нескольких миллиметров до

нескольких световых лет. Возникнув, текстура сжимается со скоростью света до субатомных размеров, после чего хиггсовское поле исчезает и трансформируется в гладкую конфигурацию. Вместе с У. Пресс и Б. Райден из Гарвардского университета мы рассчитали численную модель образования текстур и их эволюции в ранней Вселенной. Из этого моделирования следует, что текстурам свойственно простое поведение, сходное с поведением струн в жидких кристаллах. Оба этих дефекта порождают картину, неизменную в статистическом смысле, но масштаб которой меняется во времени. Масштаб космологических текстур растет со скоростью света. Как раз такое поведение кажется подходящим для образования наблюдаемой структуры Вселенной.

Фазовый переход, приводящий к образованию текстур, происходит при температуре великого объединения — вскоре после начала расширения. В это время возникают текстуры разных размеров. Сначала исчезают (сглаживаются) самые небольшие из них, затем большие и самые большие. Спустя час после начала расширения текстуры с первоначальным размером один световой час начинают исчезать, год спустя исчезнут текстуры с исходным размером один световой год и т. д. В современной Вселенной должны быть еще структуры размером в миллиарды световых лет, все еще находящиеся в процессе сжатия.

По мере сжатия энергия текстуры концентрируется в устойчиво сжимающейся области. Эти концентрации обладают гравитационным полем, притягивающим близлежащее вещество. Каждая текстура оставляет по-

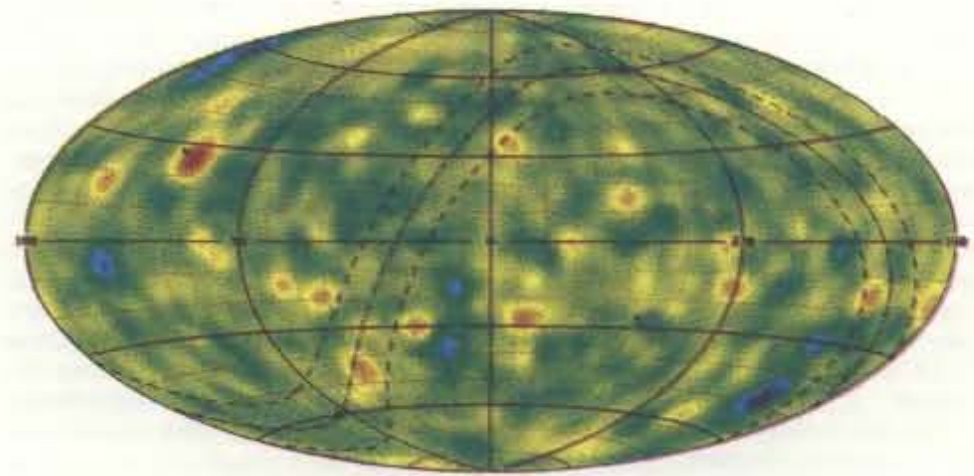
сле исчезновения пик в распределении массы Вселенной. Чем больше текстура, тем больший скачок массы она порождает при сжатии и исчезновении. Когда во Вселенной начинает преобладать материя, примерно 10 000 лет спустя после начала расширения эти неоднородности массы начинают расти за счет собственного притяжения. Вследствие большого диапазона размеров текстур образуются различные гравитационно-связанные объекты — звездные скопления, галактики, скопления галактик, гигантские сверхскопления.

Плотность энергии поля текстуры, которое определяет силу притяжения окружающей материи, обусловлена напряженностью поля Хиггса. В свою очередь напряженность поля определяется характерной энергией процессов нарушения симметрии, при которых образовались текстуры. Поскольку отсутствует однозначная теория образования текстур, мы просто подобрали напряженность поля Хиггса так, чтобы добиться наилучшего согласия с наблюдаемым строением Вселенной. Оказалось, что наша теория предсказывает нарушение симметрии при температуре, близкой к температуре великого объединения, — интригующее согласие.

На протяжении последнего десятилетия космологи разрабатывали численные модели гравитационного сгущивания в расширяющейся Вселенной. В самых последних моделях учитываются также гидродинамические эффекты, такие, как образование ударных волн, излучение и охлаждение. Частично благодаря быстрому развитию аппаратных и программных средств в последние два года нам удалось подробно разработать гипотезу текстур и получить некоторые предсказания относительно образования структуры Вселенной.

В модели, согласно которой наблюдаемое строение Вселенной связано с текстурами и лучше всего отвечающей данным наблюдений, 95% массы приходится на долю холодного темного вещества; остальная масса — это обычное вещество.

Один из самых больших успехов при использовании теории, в которой рассматриваются фаза инфляции и холодное темное вещество, заключается в количественном согласии с наблюдаемым сгущиванием галактик в масштабах, меньших среднего расстояния между галактиками. В сотрудничестве с Ч. Парком из Калифорнийского технологического института мы выполнили детальные численные расчеты гравитационного сгущивания, обусловленного текстурами. Оказалось, что текстуры в со-



МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОВОЛНОВОГО фонового излучения выявляет «горячие» (синий цвет) и «холодные» (красный цвет) области, предсказываемые в модели текстур. Эти вариации, возможно, удастся обнаружить в данных, полученных со спутника COBE, которые в настоящее время анализируются.

вокупности с моделью холодного темного вещества также приводят к согласию с наблюдаемым сгущиванием галактик.

Теперь приближенное совпадение предсказаний двух теоретических моделей для масштабов меньше среднего расстояния между галактиками не вызывает удивления. На таких расстояниях в картине сгущивания преобладает гравитация, «размывающая» различие между конкурирующими теориями. Ясно, что более детальные измерения структуры в больших масштабах, в которых гравитация меньше влияет на первичную картину сгущивания, позволяет проверить правильность моделей образования структуры Вселенной.

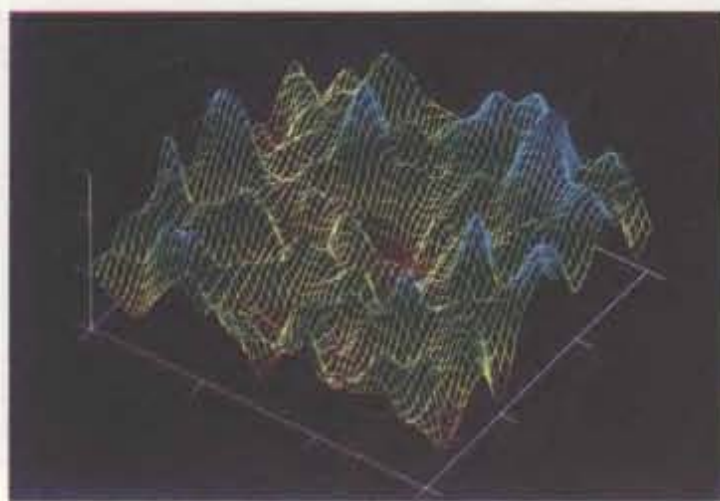
В таких больших масштабах хорошей характеристикой является угловая корреляционная функция галактик (т. е. их видимого сгущивания на небе). Как отмечалось выше, наблюдаемая корреляция противоречит предсказаниям инфляционной модели на больших угловых масштабах. Моделирование, выполненное нами в сотрудничестве с Парком, в совокупности с аналитической работой Э. Гудинга и Дж. Готта III из Принстонского университета показывает, что функция угловой корреляции, предсказанная теорией текстур, гораздо лучше аппроксимирует данные наблюдений.

Существует еще одно важное различие между инфляционной теорией и теорией текстур. В инфляционной модели флуктуации плотности в ранней Вселенной подчиняются случайному (гауссову) распределению. В моделях текстур флуктуации плотности имеют вид отдельных пиков с различными статическими свойствами. В частности, в моделях

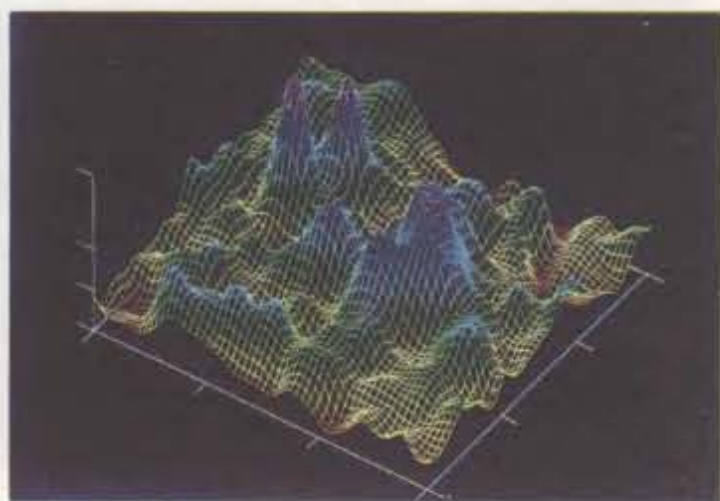
текстур пики высокой плотности гораздо более многочисленны, чем в инфляционной модели.

Благодаря этим областям повышенной плотности образование галактик, согласно теории текстур, начинается гораздо раньше, чем в инфляционной модели. В последней объекты размером с галактики не начинают сжиматься, пока возраст Вселенной не достигнет нескольких миллиардов лет. В модели текстур образование галактик начинается по истечении всего 10 млн. лет. Это предсказание особенно важно в свете недавнего открытия нескольких квазаров с очень большими красными смещениями в их спектрах, свидетельствующими о том, что они светили, когда возраст Вселенной составлял всего около 1 млрд. лет. Из существования этих квазаров следует, что некоторые гравитационно-связанные объекты образовались вскоре после начала расширения.

На больших расстояниях сильные флуктуации плотности, связанные с текстурами, должны приводить к появлению более плотных скоплений и сверхскоплений, чем предсказывается в инфляционной модели. Гудинг и Дж. Бартлетт из Калифорнийского университета в Беркли установили, что в модели текстур скопления галактик образуются раньше и плотность их выше, чем в инфляционной модели. Измерения плотностей ближайших скоплений внесут важный вклад в проверку модели текстур. В последнем крупномасштабном обзоре, выполненном Евстафием из Оксфордского университета, обнаруживается ряд сверхскоплений поперечником в сотни миллионов световых лет. Эти открытия согласуются с предсказаниями теории текстур, но противоречат инфляционной модели.



ФЛУКТУАЦИИ ПЛОТНОСТИ могут следовать случайному (гауссову) распределению или неслучайным распределениям. В инфляционной модели предсказываются случайные флуктуации плотности (слева). В модели текстур предсказываются более мощные пики и менее глубокие спады плотности (справа). В любом сценарии гравитация в конце



концов приводит к сжатию плотных областей с образованием галактик. Согласно модели текстур, образуются области повышенной плотности, которые будут быстро сжиматься, что объясняет данные недавно проведенных наблюдений чрезвычайно старых квазаров и галактик.

Вместе с Р. Ценом и Дж. Острайкером из Принстонского университета мы разработали детальные компьютерные модели образования галактик вокруг текстур. Мы установили, что совокупность теорий текстур и холодного темного вещества ведет к образованию коллапсирующих объектов, свойства которых близки к свойствам реальных галактик. Например, предсказанное число галактик заданной массы согласуется с наблюдаемым в пределах погрешностей вычислений модели.

Определив в компьютерной модели место и время образования галактик, мы проверяем их общее распределение. Примечательно, что галактики скучиваются гораздо сильнее, чем темное вещество. Отсюда следуют важные выводы. Астрономы традиционно считали, что распределения галактик и темного вещества совпадают. Измерения масс скоплений галактик на основе этого предположения приводят к оценке плотности Вселенной, равной примерно 1/10 критического значения, при котором расширение неизбежно сменится сжатием.

Но если скучивание галактик происходит в гораздо большей степени, чем темного вещества, то при этих измерениях определяется лишь некоторая доля темного вещества и плотность Вселенной может быть сильно занижена. В теории текстур предполагается, что остальное темное вещество, на долю которого приходится основная масса Вселенной, распределено более равномерно. В наших модель-

ных расчетах выявляются огромные слои галактик, окружающие области, почти не содержащие галактик, сходные по размерам и форме с Великой стеной и войдами (пустотами), обнаруженными в большом обзоре галактик, выполненном под руководством М. Геллера и Дж. Хукри из Гарвард-Смитсоновского астрофизического центра. Мы не видим никаких структур размером более 300 млн. св. лет. Это предсказание будет проверяться несколькими группами, которые составляют сейчас карты крупномасштабного распределения галактик и квазаров.

Наконец, текстуры должны были оставить отчетливый «автограф» в микроволновом фоновом излучении. Фотоны, встречающиеся на своем пути к Земле сжимающуюся текстуру, могут либо терять энергию, либо приобретать ее, падая на текстуру после ее сглаживания. Текстуры должны приводить к отчетливой картине примерно 10 «горячих» и «холодных» пятен на «микроволновом» небе поперечником около 10° и с температурой, отклоняющейся на 1/10000 от среднего значения. Такие флуктуации должны быть обнаружены на картах неба в микроволновом излучении, составленных по измерениям со спутника COBE, а также по данным с детекторов, установленных на баллонах, и наблюдателей на Южном полюсе Земли.

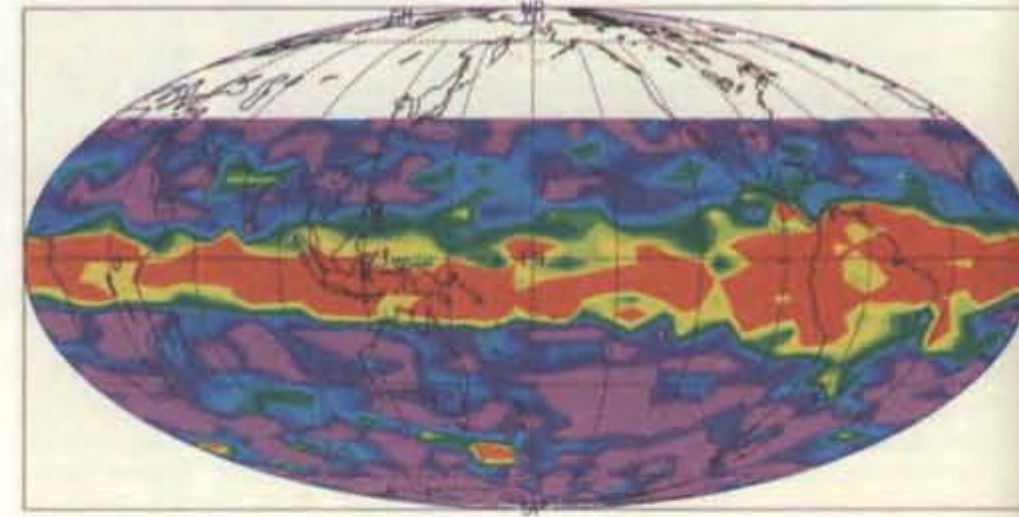
Мы с нетерпением ждем этих результатов.

Наука и общество

Ох, уж эти вулканы!

ЭТО СТАЛО традицией. Каждый октябрь Национальное управление по авионавигации и исследованию космического пространства (НАСА) публикует сделанный со спутника снимок «озоновой дыры» над Антарктидой. Средства массовой информации вспоминают, что озон защищает Землю от ультрафиолетовой радиации, которая разрушает зерновые, а также вызывает рак и катаракту и ослабляет иммунную систему у животных и человека. Затем изменяющаяся система ветров рассеивает дыру и про нее забывают до следующей весны Южного полушария, когда дыра вновь появляется над Антарктидой.

В 1991 году, однако, традиция была нарушена. Шестого октября спутник НАСА зарегистрировал самую низкую концентрацию озона, когда-либо наблюдавшуюся над Антарктидой. Несколько дней спустя предста-



времени вне дома, а солнечная радиация максимальна.

И наконец, все больше стало поступать данных о том, что гора Пинатубо — гигантский вулкан на Филиппинах, извержение которого произошло в июне прошлого года, продолжает разрушать слой озона даже в тропических регионах, где интенсивная солнечная радиация в нормальных условиях подавляет реакции, ведущие к уничтожению озона. Основываясь на предварительных данных, Сюзанна Соломон из Национального управления по исследованию океана и атмосферы (NOAA) высказала предположение, что вулкан Пинатубо может быть ответствен за утрату 30% озона этой весной в средних широтах.

Если Соломон права, то, согласно расчетам Саша Мадронича из Национального центра атмосферных исследований, такие области, как США и Европа, могли получить вдвое больше, чем обычно, дозу ультрафиолетового излучения, разрушающего ДНК. По словам Мадронича, подобное увеличение должно оказать статистически значимый отрицательный эффект на растения и животных. Оуэн Тун из Эймсовского исследовательского центра НАСА отмечает, что в процессе рассеяния вулканической пыли в течение ближайших двух-трех лет ее влияние будет ослабевать. Тем не менее считает он, «поступающие новости не утешают».

Гипотеза о том, что вулканические извержения могут способствовать разрушению слоя озона, была впервые высказана в 1989 г. Соломон и ее коллегой из NOAA Дэвидом Хоффманом. Принято считать, что основные потери озона обусловлены химическими реакциями с участием хлора в роли катализатора на поверхностях ледяных кристалликов, из которых состоят полярные стратосферные облака. (Основным источником хлора в стратосфере являются искусственные

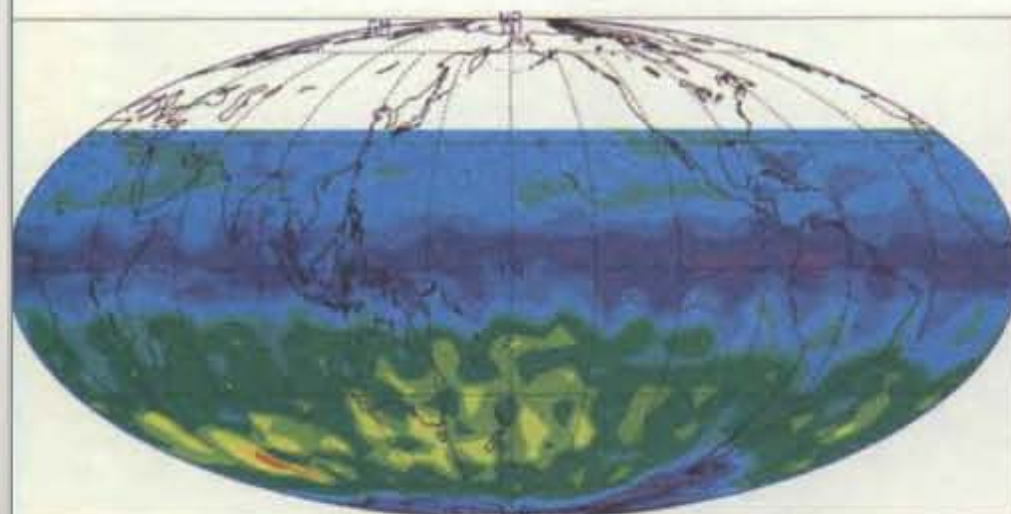
соединения, называемые хлорфторуглеродами, или, сокращенно, ХФУ.) Исследователи из NOAA предположили, что образующиеся при вулканических извержениях сульфатные аэрозоли могут формировать временные полярные стратосферные облака.

В качестве подтверждения своей гипотезы Соломон и Хоффман указали на тот факт, что на следующий год после извержения в 1982 г. вулкана Эль-Чичон в Мексике содержание озона в Северном полушарии упало на 10%. Когда произошло извержение Пинатубо, Соломон и Хоффман предупредили о том, что это событие может привести к еще большему истощению слоя озона, особенно в средних и высоких широтах.

Как показывают собранные к настоящему времени данные, опасения Соломон и Хоффмана оказались сильно преуменьшенными. Извержение вулкана Пинатубо, крупнейшее в двадцатом веке, выбросило в атмосферу 20 млн. т. диоксида серы — в три раза больше, чем извержение Эль-Чичона. При этом образовалось облако, эквивалентное сумме всех стратосферных облаков в Северном и Южном полушариях.

Вероятно, самые яркие результаты получены с помощью микроволнового лимбового зонда (МЛЗ), установленного на принадлежащем НАСА спутнике для исследований верхней атмосферы, который был запущен в сентябре прошлого года. Зонд обнаружил в тропической стратосфере на 10% более низкую концентрацию озона в стратосфере, чем измерения в

ОБЛАКО, образовавшееся при извержении вулкана Пинатубо, окутывает значительную часть земного шара. Измерения облака выполнены в сентябре прошлого года с помощью микроволнового лимбового зонда, установленного на спутнике для исследования верхней атмосферы. Облако содержит большое количество диоксида серы (оранжевая полоса, слева) и мало озона (фиолетовая полоса, справа). Снимки предоставлены Джо Уотерсом из Лаборатории реактивного движения.



прошлом. Эти данные привел руководитель работ с МЛЗ Джо Уотерс из Лаборатории реактивного движения. Соломон и Хоффман считали, что потери в тропиках будут пренебрежимо малы.

По словам Уотерса, недавно МЛЗ обнаружил «языки» обедненного озоном воздуха, протягивающиеся на север и на юг из тропиков в высокие широты, — картину, прямо противоположную той, что наблюдалась обычно. В январе прибор зарегистрировал «исключительно высокую» концентрацию разрушающего озон монооксида хлора, достаточную для снижения содержания озона на 1% в день. Это явление распространялось на область, простирающуюся от Северного полюса до Северной Европы. Уотерс подчеркивает, что все эти данные должны рассматриваться как предварительные, в особенности потому, что прибор был выведен на орбиту лишь недавно. «Но мое чутье подсказывает мне, что полученные результаты очень важны», — сказал он.

Измерения с воздушных шаров подтверждают приведенные выше выводы. Летом прошлого года, по свидетельству Сэмюэля Олтманса из NOAA, шары, запущенные NOAA над Гавайскими островами, выявили низкое содержание озона в пятнах облаков, созданных вулканом Пинатубо. В декабре, отметил Олтманс, другой, принадлежащий NOAA шар зарегистрировал наименьшую из отмеченных когда-либо в это время года концентрацию озона над Боулдером, шт. Колорадо. Шары, запущенные на

северной границе Канады, обнаружили наряду с «прорехами» в озоне сульфатные аэрозоли, которые «почти наверняка» имели своим происхождением извержение вулкана Пинатубо, сказал Ганс Фаст из Канадской службы воздушной среды.

В частных сообщениях НАСА имеется информация о том, что эффекты извержения Пинатубо были зафиксированы размещенным на спутнике «Глобальным картирующим спектрометром для измерения озона» (TOMS) и приборами, установленными на борту высотного самолета ER-2. Однако в официальных сообщениях подчеркивается, что полученные данные носят предварительный характер и публиковать их рано. Майкл Курило, директор программы НАСА по исследованию верхней атмосферы, отмечает, что измерения прибора TOMS могут быть искажены вулканическими выбросами. По его мнению, связь между извержением Пинатубо и уменьшением содержания озона остается не доказанной. «Назначать причины и следствия явочным порядком — дело опасное», — говорит он.

По словам же Соломон, утверждать, будто все наблюдаемые связи являются случайными, — значит «вымучивать истину». Явные подтверждения предсказаний, содержащиеся в написанной ею с Хоффманом статье 1989 г., она назвала «чрезвычайно волнующими». Она добавила, однако, что «если какую-либо из своих статей я и хотела бы видеть ошибочной, то именно ту, о которой идет речь».

Интересно, что облако, образовавшееся в результате извержения вулкана Пинатубо, должно по оценкам привести в ближайшие два года к охлаждению земного шара, так как оно задерживает инфракрасную радиацию и видимый свет Солнца. В то же время, по мнению ученых, это облако не в состоянии эффективно задерживать ультрафиолетовое излучение, чтобы компенсировать эффект истощения слоя озона.

Уменьшение содержания хлора в стратосфере снизило бы отрицательное влияние вулканических извержений на озон, однако, как отмечает Джей Херман из Годдардского центра космических полетов НАСА, «даже если все выбросы ХФУ и других источников хлора были бы немедленно остановлены, содержание хлора в стратосфере продолжало бы возрастать еще лет двадцать—тридцать». А из этого следует, что следующее крупное вулканическое извержение уничтожит еще больше озона, чем вулкан Пинатубо.

Почему устойчивы ароматические соединения?

Молекулы, содержащие бензоподобные кольца, не изменяются в течение геологического времени и даже существуют в туманностях. В настоящее время ученые могут математически описать причины такой исключительно высокой устойчивости

ДЖУН-ИТИ АИХАРА

В 1825 Г. МОЛОДОЙ директор лаборатории Королевского института в Лондоне заинтересовался анализом жидкого остатка, образовавшегося при получении лампового газа. Считавшийся одним из лучших химиков того времени, 33-летний ученый Майкл Фарадей сделал открытие, которое ознаменовало начало новой области химии. Он выделил из этого остатка новый углеводород, молекулы которого состоят только из атомов водорода и углерода, и назвал его бикарбюрированным водородом. В настоящее время это вещество называют бензолом, его молекула состоит из шести атомов водорода, присоединенных к шести атомам углерода. Бензол — прототип класса молекул, известных как ароматические (циклические) соединения.

Такие углеводороды имеют ценное свойство — исключительно высокую устойчивость. Они проявляют сильную тенденцию сохранять свою форму и намного менее реакционноспособны, чем молекулы других типов. Устойчивость — одна из основных причин широкого использования этих углеводородов. Их присутствие в бензине увеличивает октановое число, они входят в состав таких бытовых химикатов, как растворители красок и нафталиновые шарики. В качестве реагентов и растворителей ароматические соединения играют также существенную роль в современной промышленности при производстве синтетических волокон, резины и красителей. Несмотря на такое широкое применение, основные причины устойчивости этих соединений не удалось тщательно проанализировать. В настоящее время мною и другими учеными эта проблема изучается.

Главная трудность, с которой мы столкнулись, возникла из-за того, что прямые квантовомеханические расчеты не обеспечивают удовлетвори-

тельной основы для предсказания или точного определения устойчивости ароматических молекул. Такие попытки часто базировались на различных допущениях, которые хотя и мало обоснованы, но необходимы. С помощью этих предположений нельзя также объяснить другие особенности ароматических соединений, например их необычные диамагнитные свойства. Еще более важно, что экспериментаторы смогли синтезировать такие ароматические соединения, свойства которых не могут быть объяснены в рамках существовавших ранее представлений.

Чтобы заполнить этот пробел, я и другие ученые разработали теорию топологической энергии резонанса. В ней сочетаются предмет рассмотрения топологии — математическое изучение геометрических фигур — и квантовомеханические принципы описания электронных орбиталей и энергетических уровней молекул. Это позволяет выразить их устойчивость в числовых и геометрических величинах. Такой подход оказался обоснованным почти для всех типов ароматических соединений, включая фуллерены — трехмерные молекулы из атомов углерода, которые в настоящее время интенсивно исследуются.

НАША теория опирается на положения, разработанные в прошлом веке, когда ученые начали понимать, как химические элементы реагируют и взаимодействуют друг с другом. Устойчивость ароматических молекул означает, что они не проявляют реакционной способности и их структура способствует этому. К числу одной из первых установленных характеристик ароматических молекул относится расположение их шести атомов углерода в виде замкнутого кольца. Впервые такую конфигурацию установил в 1865 г. немецкий хи-

мик Фридрих Август Кекуле. Согласно историческим свидетельствам, он представил себе форму бензола после того, как ему приснился сон о змеях, заглывающих собственные хвосты.

Именно кольцевая структура является отличительной особенностью ароматических соединений, а не их запах, как кто-либо может предположить. Действительно, многие «ароматические» соединения не имеют запаха. Это название было позаимствовано от некоторых веществ с приятным ароматом, в структуре которых было обнаружено бензольное кольцо. Химики постепенно начали классифицировать любое подобное соединение как член ароматического ряда, и такое наименование стало закрепляться. А в настоящее время к ароматическим относятся не только углеводороды, но и другие органические соединения, в которых отдельные атомы углерода замещены атомами азота, серы и кислорода.

Бензольное кольцо — не только источник устойчивости молекул; оказалось, что такая форма наиболее предпочтительна в природе. Сейчас известно, что циклические углеводороды очень распространены, например, они входят в состав угля и сажи. Многие химические реакции завершаются образованием молекул с бензольными кольцами. Для иллюстрации рассмотрим 5-метил-1,3-циклогекса-

МОЛЕКУЛА БЕНЗОЛА — прототип ароматических соединений — имеет кольцевую форму, как видно на этой микрофотографии, полученной с помощью растрового туннельного микроскопа. Каждая молекула представляет собой холмик с небольшим центральным углублением. Размытость фигур обусловлена движением электронов, участвующих в образовании двойных связей, которые называют π -электронами.

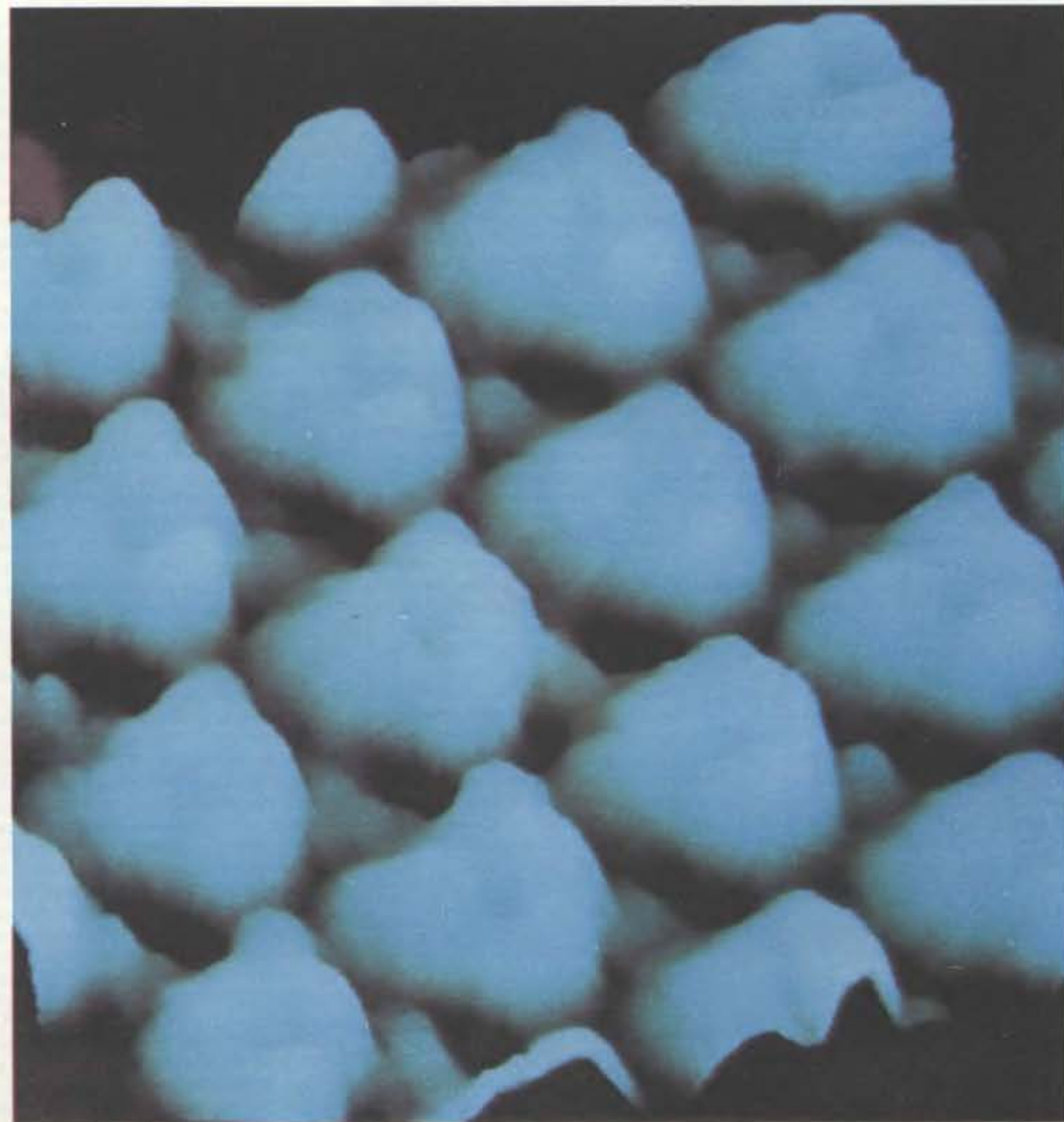
диен (C_7H_8), довольно простое соединение со сложным названием (цифры в названии относятся к атомам углерода, участвующим в образовании связей). Эта молекула принадлежит к другому классу соединений — алканам. Хотя в общем форма этой молекулы напоминает бензол, 5-метил-1,3-циклогексадиен высокореакционноспособен. Если к нему добавить немного кислоты, форма его молекул изменяется и он превращается в ароматическое соединение толуол (C_7H_8). Молекула толуола представляет собой бензольное кольцо, в котором к одному из атомов углерода

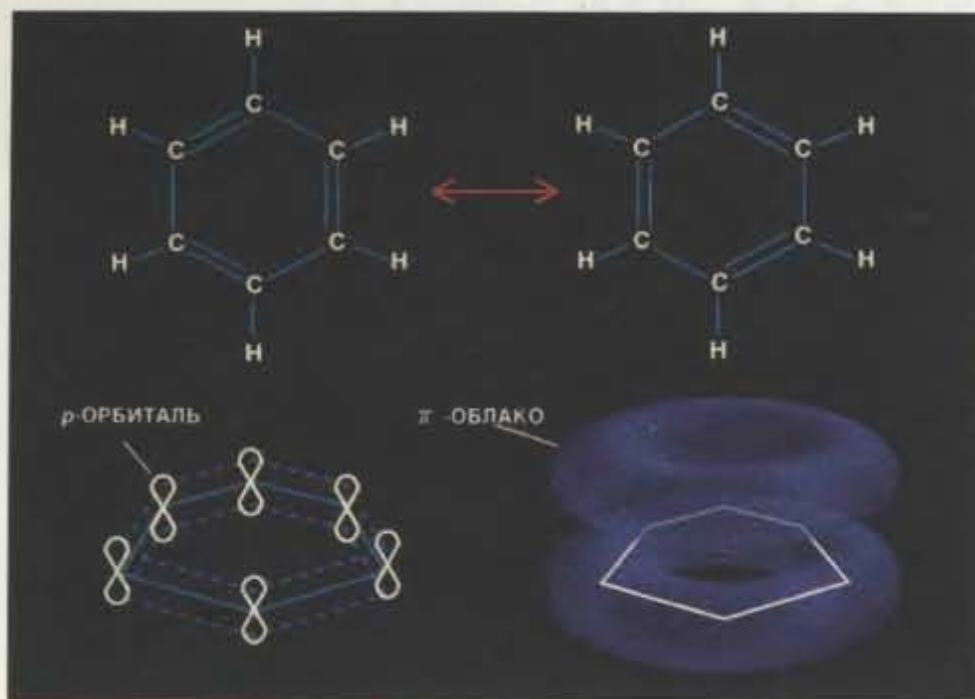
присоединена группа CH_3 .

Различные ароматические соединения образуются в процессе обычного горения. Теоретически при сгорании углеводородного топлива должны образовываться диоксид углерода и вода. На практике полное сжигание происходит редко, и в результате остается сажа и выделяется дым. Такие газы содержат ряд полициклических ароматических соединений, содержащих несколько бензольных колец; некоторые из них высокотоксичны. Ученые могут идентифицировать состав этих остатков методом хроматографии, который позволяет

разделять различные компоненты. Дж. Фетцер и В. Биггс из Научно-технического центра фирмы Chevron в Ричмонде (шт. Калифорния), а также К. Дзинно из Технического университета Тоухасти обнаружили, что в остатках при сгорании дизельного топлива содержатся не только небольшие ароматические молекулы, такие, как бензол, нафталин ($C_{10}H_8$) и фенантрен ($C_{14}H_{10}$), но и большие молекулы, например коронен ($C_{24}H_{12}$) и овален ($C_{32}H_{14}$). Считают, что сажа состоит из больших молекул с несколькими бензольными кольцами.

В космическом пространстве бен-





МОЛЕКУЛЯРНАЯ СТРУКТУРА бензола показана с помощью чередующихся простых и двойных связей. Поскольку возможны два варианта структуры (вверху), молекулу бензола рассматривают как резонансный гибрид. Такое представление обусловлено тем, что атомные орбитали, на которых находятся π -электроны (так называемые p -орбитали) перекрываются с соседними орбиталями. Область перекрывания показана пунктирными линиями (слева внизу). Следовательно, π -электроны делокализованы, т. е. их положения неопределенны. Они движутся по общим областям, образуя « π -облака» в виде «бубликов» (справа внизу).

зольные структуры образуются так же легко, как и на Земле. Известно, что наиболее «старые» тела в нашей Солнечной системе — метеориты, называемые углистыми хондритами, содержат различные полициклические ароматические соединения. Эти вещества могли образоваться при реакции водорода с монооксидом углерода на подходящей поверхности. Возможно также, что ароматические соединения образовались в межзвездном пространстве, а затем были захвачены метеоритами при формировании Солнечной системы. В звездах на последних стадиях их эволюции синтезируются тяжелые элементы, включающие углерод, которые затем попадают в окружающее пространство. Углерод может реагировать с находящимися вблизи атомами водорода. В 1985 г. Л. Алламандола и его коллеги из Национального управления по авиации и исследованию космического пространства (НАСА) зарегистрировали спектр туманностей, очень похожий на спектр сажи, образующейся при сгорании автомобильного топлива.

ПОЧЕМУ углеводородные кольца такой формы настолько устойчивы в природе? В общем молекулы устойчивы, потому что все их атомы имеют достаточно «валентных» элек-

тронов, т. е. электронов, участвующих в образовании химических связей. Такие электроны находятся на внешних, или валентных, оболочках атома, которые должны быть заполнены определенным числом электронов, чтобы связанные атомы стали стабильными.

Один из путей для достижения этого — «захват» электронов у других атомов. Хлор, имеющий семь валентных электронов, захватывает один электрон у атома-донора, чтобы заполнить свою валентную оболочку. Добавление электрона приводит к образованию отрицательно заряженного иона хлора, который может быть связан с положительно заряженным ионом. (Если донором электрона является натрий, то в результате образуется обычная поваренная соль.) Такие связи называют ионными.

Однако атом углерода предпочитает делить электроны с другими атомами, а не захватывать их. Атом углерода содержит четыре валентных электрона, и для заполнения его валентной оболочки необходимо еще четыре электрона. В метане (CH_4) — одном из простейших углеводородов — каждый атом водорода делит свой единственный валентный электрон с углеродом, тем самым полностью заполняя его валентную оболочку. Поочередно углерод делит валентный

электрон с каждым атомом водорода, которому необходимы только два электрона, чтобы заполнить его оболочку. Образующуюся связь называют ковалентной.

В ароматических соединениях это правило не осуществляется точно. В бензоле есть только шесть атомов водорода и шесть атомов углерода, поэтому атомам углерода должно не хватать электронов для заполнения их валентных оболочек. Однако, поскольку молекула бензола очень устойчива, можно сделать вывод, что все атомы углерода имеют заполненные оболочки. Таким образом, атом углерода, вероятно, делит более двух валентных электронов с соседним атомом углерода. Другими словами, между некоторыми атомами углерода должно быть более одной связи. Точнее, в бензольном кольце должны чередоваться (альтернировать) три простые и три двойные связи. Простая и двойная связи записываются соответственно как $\text{C}-\text{C}$ и $\text{C}=\text{C}$. (Циклические молекулы с такими чередующимися связями иногда относят к классу аннуленов.)

Двойные связи обычно называют «сигма» (σ) и «пи» (π). σ -Связь — это простая связь; она довольно сильная. Напротив, π -связь слабая; электроны, участвующие в образовании π -связи (π -электроны), химически неустойчивы по сравнению с σ -электронами.

Химики учитывают тип электронов в связях только при расчетах. Фактически квантовомеханические представления допускают свободное движение π -электронов между соседними атомами углерода. Поэтому можно считать, что бензол имеет π -связи примерно одинаковой силы. Действительно, молекула бензола — это «гибрид» двух возможных конфигураций альтернирующих двойных и простых связей, и поэтому ее рассматривают как резонансный гибрид.

Однако такой делокализацией π -электронов невозможно полностью объяснить необычно высокую устойчивость ароматических соединений. В циклобутadiене (C_4H_4), четырехчленное углеродное кольцо которого имеет две двойные связи, π -электроны могут двигаться по всей структуре. Однако в отличие от бензола циклобутadiен реакционноспособен и его трудно получить. Химики могут успешно это сделать только при температурах ниже 20 К; полученное соединение быстро распадается при нагревании. Почему же кольцо из шести атомов углерода так устойчиво, в то время как аналогичная структура из четырех атомов углерода высоко-реакционноспособна?

ЧАСТИЧНОЕ объяснение этих фактов появилось в 1931 г., когда немецкий химик Эрих Хюккель сформулировал правило для определения стабильности π -электронов в молекулах. Он рассматривал молекулы как атомы. π -Электроны должны заполнить определенные «молекулярные орбитали» во многом подобно тому, как электроны заполняют атомные орбитали. Аналогично атомам молекулы должны иметь «магические числа», соответствующие числу π -электронов, необходимых для заполнения молекулярных оболочек. Эти магические числа — 2, 6, 10, 14 и т. д. Другие числа π -электронов соответствуют неустойчивым соединениям.

Это правило можно изложить в общих терминах. Простые кольцевые молекулы и ионы, которые содержат число π -электронов, кратное 4 (записываются как $4n$, где n — любое положительное целое число), очень неустойчивы. Однако молекулы, имеющие одно из магических чисел электронов (т. е. $4n + 2$), устойчивы. Это правило впервые позволило объяснить, почему молекула бензола с шестью π -электронами ($n = 1$) устойчива, а циклобутadiен с четырьмя π -электронами — нет.

Для определения устойчивости ароматических соединений наиболее успешно использовался метод молекулярных орбиталей Хюккеля. Однако он применялся только к молекулам с одним бензольным кольцом. После второй мировой войны бурное развитие органической химии привело к синтезу больших ароматических молекул, многие из которых состояли из нескольких колец. Устойчивость таких полициклических молекул невозможно было определять на основе правила Хюккеля.

Дальнейшего прогресса в этой области пришлось ждать до 1964 г., когда Майкл Дьюар (в настоящее время работает в Университете шт. Флорида в Гейнсвилле) и другие ученые сформулировали концепцию энергии резонанса. При изучении квантовых состояний π -электронов в молекулах было обнаружено, что отдельные связи в кольце отличаются от таких же связей в цепи. В частности, было установлено, что в линейных молекулах связи одного типа имеют примерно одинаковые энергии. Например, в углеводородной цепи с альтернирующими двойными и простыми связями энергия связи $\text{C}=\text{C}$ составляет 5,5378 эВ (электрон-вольт) и 4,3499 эВ для связи $\text{C}-\text{C}$. Энергия связи углерода с водородом — около 4,4375 эВ.

Эти данные позволяют легко рассчитать количество энергии, необхо-

димой для разрыва линейной молекулы на составляющие ее атомы. Эту энергию называют энергией или теплотой атомизации. Чтобы получить энергию атомизации всей цепи, надо сложить все энергии связей. Например, бутadiен имеет две двойные связи, одну простую связь и шесть связей углерод—водород. Полная энергия связи этой молекулы составляет 42,051 эВ. Энергия атомизации бутadiена, вычисленная с использованием сложного метода молекулярных орбиталей, равна 42,054 эВ; эта величина довольно хорошо согласуется со значением, полученным суммированием энергий связи.

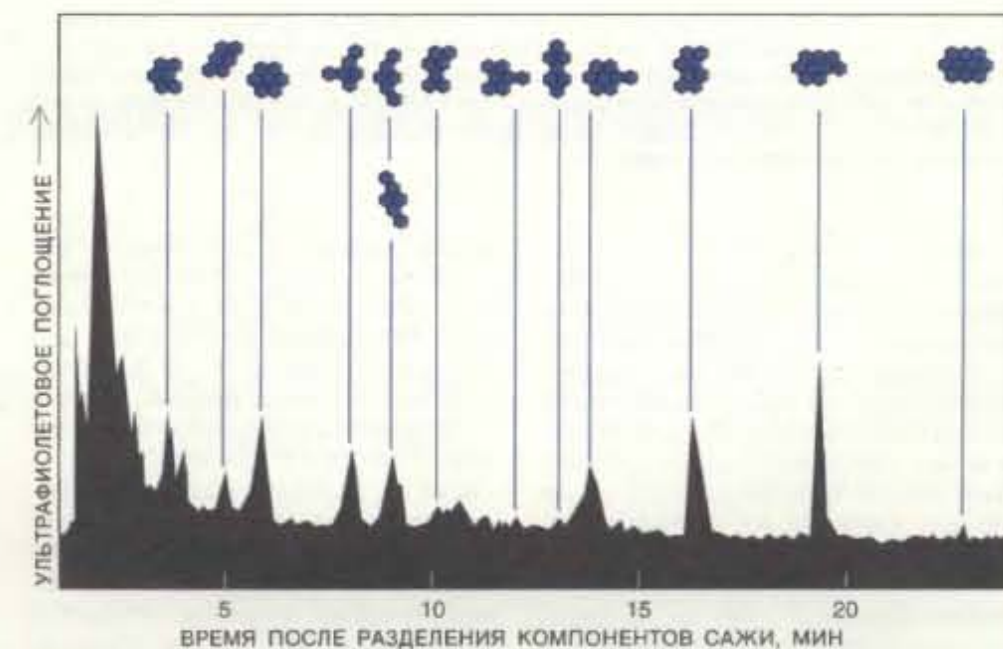
Для кольцевых структур такой прямой метод расчета вызывает ряд трудностей. Для бензола сумма энергий связи составляет 56,288 эВ (три двойные связи, три простые связи и шесть связей углерод—водород). Однако теоретический расчет энергии атомизации дает значение 57,157 эВ, что на 0,869 эВ больше. Эта разность при переводе в энергию стабилизации соответствует примерно 20 ккал (килокалориям). Поскольку считают, что энергия связи углерод—водород одинакова и для линейных, и для кольцевых молекул, разность в 20 ккал должна относиться к связям углерод—водород, т. е. к бензольному кольцу. Дьюар и его коллеги рассматривали эту энергию стабилизации как энергию резонанса. Описанный термин «резонанс» обозначает, что π -электроны делокализованы и

энергетически стабильны. (Во многих учебниках химии для энергии резонанса бензола дается величина 36 ккал, однако это значение основано на другом определении энергии резонанса, которое включает не только ароматичность.)

Бензол — не исключение. У других циклических молекул энергия атомизации отличается от величин, полученных при суммировании энергий связей. Они могут иметь положительную или отрицательную энергию резонанса. Дьюар определил ароматические соединения как имеющие положительную энергию резонанса. В настоящее время это определение является стандартным.

На самом деле энергия резонанса в расчете на один π -электрон является лучшей мерой устойчивости, чем собственно энергия резонанса. Большая энергия в расчете на один π -электрон указывает, что обычно слабые π -связи становятся прочнее. Для бензола это значение самое высокое. Кольцевые молекулы, такие, как циклобутadiен, имеют отрицательную энергию резонанса в расчете на один π -электрон. Эти соединения трудно синтезировать, они легко разлагаются. Таким образом, с помощью энергии резонанса можно объяснить, почему ароматические соединения так легко образуются и почему их кольцевая структура устойчива.

ХОТЯ концепция Дьюара об энергии резонанса позволила лучше



УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫЙ спектр газов из выхлопа дизельного двигателя показывает, что сажа содержит много полициклических ароматических соединений (представлены в виде комбинаций шестиугольников). Эти углеводороды, выделенные с помощью органического растворителя, дают сильные пики поглощения. Первые пики соответствуют небольшим ароматическим молекулам.



ЧАСТОТА НАБЛЮДАЕМОГО СВЕТА

ТУМАННОСТЬ ОРИОНА (на фото сверху), по-видимому, содержит различные ароматические соединения. Инфракрасный спектр ее центральной области (диаграмма) очень похож на спектр рассеяния обычной автомобильной сажи (называемый спектром комбинационного рассеяния), которая содержит много ароматических молекул. В настоящее время ученые считают, что эти соединения распространены во Вселенной.

понять и объяснить устойчивость ароматических соединений, она оставила нерешенным вопрос: должны ли одинаковые связи в линейных молекулах всегда иметь равные энергии? Проводимые до сих пор исследования не дали ответа на этот вопрос. Дьюар считал, что приписывание одинаковых энергий этим связям было сделано для удобства. Он не мог объяснить, почему кольцевые структуры проявляют устойчивость. Хотя концепция Дьюара полезна, она основана на эмпирических соотношениях, и поэтому только с ее помощью невозможно установить истинную природу устойчивости ароматических соединений.

Важнее то, что правило Дьюара неприменимо ко всем кольцевым молекулам,

особенно к электрически заряженным. В таких ионах, как циклопентадиенидный ($C_5H_5^-$) и тропилиевый ($C_7H_7^+$), шесть π -электронов циркулируют по кольцу так же, как в нейтральной молекуле бензола, но правило Дьюара не дает объяснений, почему такие структуры устойчивы.

В 1975 г. мною и независимо И. Гутманом, М. Милуном, Н. Тринастичем из Института Р. Бошковица в Загребе (Хорватия) был разработан метод, который позволяет устранить трудности, возникшие при использовании метода Дьюара. Мы применили топологические представления математики к теории молекулярных орбиталей Хюккеля. В отличие от метода Дьюара в нашем подходе не требуется вычисление энергии отдельных

связей. Вместо этого вся молекулярная структура описывается в математических терминах, что позволяет в конечном итоге определять энергию резонанса (стабилизации) рассматриваемого соединения. Важно отметить, что циклические структуры описываются математически как гипотетические линейные молекулы.

Можно представить, что проводимые расчеты технически достаточно сложны. Однако это не имеет решающего значения для того, чтобы понять смысл метода. Первая стадия состоит в определении специфического уравнения, называемого характеристическим полиномом для рассматриваемого соединения. Это полином можно вывести, используя теорию молекулярных орбиталей Хюккеля. Корни полинома представляют разрешенные энергетические уровни π -электронов.

Однако эти уровни энергии еще не позволяют определить энергию резонанса. Необходимо ввести некоторые различия между энергиями связей и энергией кольцевой структуры. Чтобы определить разницу между ними, надо ввести некую гипотетическую структуру, основанную на предположении, что π -электроны не могут циркулировать по кольцу, т. е. они ведут себя так, как если бы они находились в цепи. Мы рассматривали такую структуру как квазилинейную молекулу. Таким образом можно получить стандартный полином (Тринастич и его коллеги назвали его «ациклическим полиномом»).

Решение этого полинома дает энергетические уровни π -электронов тех же атомов, которые входят в квазилинейную молекулу. Разность между реальными уровнями (кольцо) и уровнями в гипотетической структуре (квазилинейная молекула) представляет энергию «сверхстабилизации», которая связана с кольцевой структурой. Эта энергия четко определяет энергетический вклад кольцевой структуры. Энергия резонанса выражается в терминах абсолютной величины параметра β (записывается как $|\beta|$). Эта величина, основанная на теории молекулярных орбиталей Хюккеля и имеющая отрицательное значение, представляет степень взаимодействия друг с другом валентных оболочек соседних атомов.

Метод с использованием топологической энергии резонанса показывает количественно, почему ароматические соединения устойчивы. π -Электроны движутся по кольцевой структуре таким образом, что стабилизируют всю молекулу. Хотя π -электроны существуют также во многих линейных молекулах, они в этом случае не могут

Устойчивость некоторых углеродных циклических молекул

Топологическая энергия резонанса в расчете на один π -электрон (цифры в скобках) дается через абсолютное значение параметра β — меры устойчивости молекулы. Устойчивые ароматические соединения имеют положительную энергию; отрицательные значения соответствуют неароматическим молекулам.

На структурных диаграммах принято изображать только двойные углерод-углеродные связи в кольце; углерод-водородные связи не показаны. В этом случае молекула бензола изображается в виде шестиугольника. Красными линиями показаны π -связи.



БЕНЗОЛ
(0,0454)
ОЧЕНЬ УСТОЙЧИВ



НАФТАЛИН
(0,0389)
УСТОЙЧИВ



АНТРАЦЕН
(0,0339)
УСТОЙЧИВ



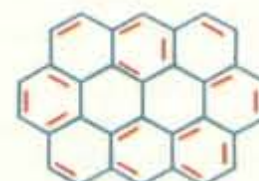
ФЕНАНТРЕН
(0,0390)
УСТОЙЧИВ



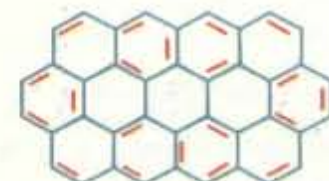
ПИРЕН
(0,0374)
УСТОЙЧИВ



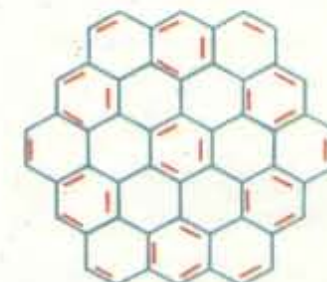
КОРОНЕН
(0,0395)
ОЧЕНЬ УСТОЙЧИВ



ОВАЛЕН
(0,0382)
УСТОЙЧИВ



ЦИРКУМАНТРАЦЕН
(0,0369)
ОЧЕНЬ УСТОЙЧИВ;
МОЖЕТ СУЩЕСТВОВАТЬ
В ТУМАННОСТЯХ



ДОДЕКАБЕНЗОКОРОНЕН
(0,0388)
ЕЩЕ НЕ СИНТЕЗИРОВАН;
НО, ПО-ВИДИМОМУ, ДОЛЖЕН БЫТЬ
УСТОЙЧИВ И МОЖЕТ
СУЩЕСТВОВАТЬ В ТУМАННОСТЯХ



БАКМИНСТЕРФУЛЛЕРЕН (C_{60})
(0,0274)
БОЛЬШАЯ, УСТОЙЧИВАЯ, ПОЛЯЯ МОЛЕКУЛА;
ТРЕТЬЯ ФОРМА ЧИСТОГО УГЛЕРОДА;
ПРИ СОЕДИНЕНИИ С ДРУГИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ
ЕЕ СВОЙСТВА ИЗМЕНЯЮТСЯ



ЦИКЛОБУТАДИЕН
(-0,3066)
ОЧЕНЬ НЕУСТОЙЧИВ;
НЕ МОЖЕТ БЫТЬ ВЫДЕЛЕН,
ДАЖЕ ЕСЛИ СИНТЕЗИРОВАН



ЦИКЛОПЕНТАДИЕНИДНЫЙ ИОН
(0,0528)
РЕАГИРУЕТ С КИСЛОРОДОМ,
НО ОТНОСИТСЯ К БОЛЕЕ
УСТОЙЧИВЫМ ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ИОНАМ



ТРОПИЛИЕВЫЙ ИОН
(0,0376)
ОДИН ИЗ БОЛЕЕ УСТОЙЧИВЫХ
ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ ИОНОВ



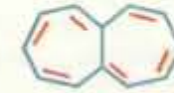
ЦИКЛООКТАТЕТРАЕН
(-0,0744)
ВЫСОКОРЕАКЦИОННОСПОСОБЕН;
НЕПЛОСКАЯ СТРУКТУРА
ПРЕПЯТСТВУЕТ ДВИЖЕНИЮ
ЭЛЕКТРОНОВ ПО КОЛЬЦУ



ПЕНТАЛЕН
(-0,0269)
ВЫСОКОРЕАКЦИОННОСПОСОБЕН;
НЕ МОЖЕТ БЫТЬ ВЫДЕЛЕН,
ДАЖЕ ЕСЛИ СИНТЕЗИРОВАН



АЗУЛЕН
(0,0151)
ДОВОЛЬНО УСТОЙЧИВ



ГЕПТАЛЕН
(-0,0118)
НЕПЛОСКАЯ СТРУКТУРА; РЕАГИРУЕТ С КИСЛОРОДОМ
И ПОЛИМЕРИЗУЕТСЯ ПРИ НАГРЕВАНИИ



s-ИНДАЦЕН
(0,0046)
НЕУСТОЙЧИВ ПРИ НАГРЕВАНИИ;
ЛЕГКО ОКИСЛЯЕТСЯ

Топологическая энергия резонанса нафталина



Устойчивость этой молекулы можно определить, решив сначала характеристический полином $P(X)$ (колонка слева). Корни этого уравнения определяют энергии 10 π -электронов нафталина (точки), которые расположены по два на каждом энергетическом уровне. (Пять других более высоких уровней не заняты и не показаны.) Энергетические уровни (выраженные через параметр β) сравниваются со значениями, полученными из стандартного полинома $P(X)$ (колонка справа), который математически представляет нафталин как «квазилинейную» молекулу. Полученная разность энергии является топологической энергией резонанса нафталина; она равна 0,3886 $|\beta|$.



двигаться по кольцевой траектории, и соответствующая энергия резонанса равна нулю.

Наше определение энергии резонанса только унифицирует существующие представления теоретической химии. Поэтому оно включает все предыдущие попытки объяснения ароматичности. Подобно подходу Дьюара, положительная энергия стабилизации указывает на то, что молекула устойчива за счет движения π -электронов по кольцевой траектории, т. е. данная молекула является ароматической. (Топологическая энергия резонанса довольно хорошо воспроизводит энергию резонанса в методе Дьюара, давая $\beta = -3,562$ эВ.) Но наша теория исключает обязательное предположение в подходе Дьюара, согласно которому в линейной молекуле одинаковые связи имеют равные энергии. Возможно, еще более существенно то, что наш метод применим для рассмотрения ионов. Он позволяет получать энергии резонанса заряженных кольцевых структур примерно с такой же точностью, как и для нейтральных молекул.

Подход с использованием топологической энергии резонанса подтвердил также современную версию правила Хюккеля. Х. Итикавой из Фармацевтического колледжа Хоси в Токио и мною было показано, что у простых кольцевых молекул и ионов, которые имеют магическое число $(4n + 2)\pi$ -электронов, энергия стабилизации всегда положительна, поэтому они являются ароматическими соединениями. У всех других нейтральных

и заряженных моноциклических молекул эта энергия отрицательна, и они неустойчивы, как и утверждает правило Хюккеля.

Х. Хосоя и К. Хосои из Университета Отаномидзу в Токио и Гутман (который в настоящее время работает в Университете Крагуеваца в Сербии) использовали подход, аналогичный теории топологической энергии резонанса, чтобы показать, что правило Хюккеля применимо даже к большим полициклическим соединениям. Ранее считалось, что такое «расширение» правила невозможно. Они приняли, что нейтральные молекулы энергетически устойчивы, если их π -электроны могут двигаться по многим шестиугольным траекториям. Но если существуют четырех- или семиугольные траектории, то молекулы проявляют тенденцию к неустойчивости. Эти соображения позволяют объяснить, почему полициклические ароматические углеводороды имеют большие энергии резонанса. Поскольку такие молекулы состоят из нескольких связанных бензольных колец, их π -электроны могут двигаться по разным шестиугольным траекториям; это обуславливает высокую устойчивость молекул. Я математически доказал, что правило Хосоя — Хосои — Гутмана довольно хорошо выполняется для большинства нейтральных молекул.

Наша теория начинает находить практическое применение. В 1984 г. А. Леже и Ж.-Л. Пюже из Парижского университета предположи-

ли, что в туманностях должна существовать смесь из больших ароматических молекул. Через три года я определил тип ароматических соединений, которые, вероятно, существуют в туманностях. Ими, по всей видимости, не могут быть небольшие молекулы. Расчеты топологической энергии резонанса и данные астрономических наблюдений в инфракрасном диапазоне показывают, что интенсивное ультрафиолетовое излучение от ближайших звезд должно возбуждать и затем разрушать небольшие ароматические молекулы. Но я показал, что большие компактные полициклические молекулы ароматических соединений могут «выжить» в туманностях. Расчеты указывают, что такие молекулы в возбужденных состояниях имеют высокие энергии резонанса и поэтому остаются устойчивыми во «враждебном» окружении. Данные современных астрономических наблюдений согласуются с этими предположениями.

Наиболее вероятным из ароматических соединений в туманностях является додекабензокоронен. Эта молекула, которую химики уже синтезировали, состоит из 19 бензольных колец, расположенных в форме шестиугольника. Возможно также присутствие циркумантрацена. В 1987 г. я рассчитал устойчивость этих соединений, а в 1991 г. Р. Броен и Ф. Дидерик из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе успешно синтезировали циркумантрацен. Как и предполагалось, это соединение очень устойчиво.

Теоретические представления о топологической энергии резонанса применимы также к рассмотрению фуллеренов — больших полых трехмерных структур из атомов углерода. Легче всего образуется соединение C_{60} (из 60 атомов углерода), полученное методом лазерного испарения графита. Форма его молекулы напоминает футбольный мяч. Различные свойства таких молекул вызывают большой интерес ученых, с тех пор как они были получены в заметных количествах (см. статью: Р. Керл, Р. Смолли. Фуллерены, «В мире науки», 1991, № 12).

Для предыдущих теорий ароматичности структура фуллеренов вызывает сложности. Правило Хюккеля $(4n + 2)$ неприменимо к молекуле C_{60} , поскольку она представляет собой трехмерную полициклическую структуру. Метод Дьюара также не подходит, поскольку энергии связей в таких системах неизвестны. В 1988 г. Хосоя и я предположили, что молекула C_{60} , состоящая из 20 бензольных шестиугольников и 12 пятиуголь-

ников, должна быть умеренно ароматична. Мы рассчитали энергию резонанса на один π -электрон и получили величину 0,0274 $|\beta|$. (Соответствующее значение для высокоароматичного бензола составляет 0,0454 $|\beta|$.) Отрицательный ион C_{60}^- так же обладает ароматичностью, как и нейтральная молекула. Трехжды заряженный ион C_{60}^{3-} , который становится сверхпроводником при охлаждении до очень низких температур, имеет резонансную энергию в расчете на один π -электрон, равную 0,0241 $|\beta|$. Однако положительный ион, по-видимому, намного менее ароматичен.

Представление о топологической энергии резонанса позволяет в терминах ароматичности объяснить свойство, называемое диамагнетизмом. Молекулы, обладающие диамагнетизмом, отталкиваются магнитными полями. Это свойство обусловлено движением электронов в молекуле. Внешнее магнитное поле, действующее на движущиеся электроны, изменяет квантовые состояния всех электронов в молекуле, что приводит к возникновению магнитного момента, направленного против приложенного магнитного поля.

Хотя все органические молекулы проявляют это свойство только частично, ароматические соединения действительно диамагнитны. Отталкивание становится более выраженным, по мере того как магнитное поле возрастает. В 1981 г. я смог связать эти диамагнитные свойства, обусловленные движением электронов в кольце, с топологической энергией резонанса. Это — несложное соотношение. По существу, когда электроны двигаются по кольцевой траектории, стабилизируя молекулу, они усиливают ее диамагнитные свойства; кольцевые траектории, способствующие дестабилизации структуры, приводят к ослаблению этих свойств. Увеличение диамагнетизма рассматривается как проявление сильной тенденции к стабильности молекулы, которая «нейтрализует» эффект внешнего магнитного поля.

Существуют две потенциальные трудности при использовании топологической энергии резонанса в качестве индекса стабильности. Во-первых, вывод соответствующего характеристического полинома основан на теории молекулярных орбиталей Хюккеля, которая не свободна от некоторых приближений и поэтому может содержать ошибки. Тем не менее это единственный подход для аналитического изучения ароматичности.

Во-вторых, топологическая энер-

гия резонанса на самом деле описывает энергетическую (термодинамическую) устойчивость. Возможно, некоторые соединения могут быть энергетически неустойчивы, но химически инертны. Это значит, что молекула может иметь отрицательную энергию резонанса, но по какой-то причине не готова вступать в химические реакции. В таких случаях топологическая энергия резонанса не будет отражать наблюдаемую устойчивость молекулы.

Однако большинство энергетиче-

ски устойчивых молекул являются также химически устойчивыми. В общем предсказательная способность нашей теории остается в силе почти для всех соединений, за исключением некоторых. После более 100 лет теоретических исследований можно уверенно сказать, что наконец найдено объяснение устойчивости ароматических соединений. Ученые должны найти более широкое применение этому методу для исследования многообразия химических явлений.

Наука и общество

В уравнении глобального потепления не хватает озона

Озон — парадоксальный газ. В стратосфере он играет роль щита, защищающего нас от ультрафиолета. Неуклонное уменьшение содержания стратосферного озона вызывает большое беспокойство, поскольку грозит ростом заболеваний раком кожи и генетическими нарушениями у организмов, находящихся в основании пищевой цепи. На уровне земли озон является сильнодействующим загрязняющим веществом, которое вызывает респираторные заболевания и разрушает леса.

Между приземным слоем и стратосферой располагается тропосфера, простирающаяся до высоты 10 км. Наблюдения с воздушных шаров позволяют предположить, что содержание тропосферного озона быстро растет — примерно на 10% за десятилетие. Такой вывод был сделан специалистами, работающими в рамках Программы ООН по окружающей среде.

Вздых облегчения за этой новостью вряд ли последует, поскольку масса тропосферного озона намного меньше массы стратосферного, и этот прирост не может компенсировать потери озона в стратосфере. Зато на первый план в этом случае выступает свойство озона как «парникового газа», и таким образом увеличение его содержания способствует усилению эффекта потепления, вызываемого главным образом диоксидом углерода.

Одной из причин возрастания содержания озона в тропосфере считают выбросы оксидов азота из реактивных двигателей. В стратосфере оксиды азота способствуют протека-

нию реакций, в результате которых количество озона уменьшается, в тропосфере же с их участием идут другие реакции, увеличивающие количество озона. В статье, опубликованной в журнале «Nature», Колин Джонсон и его коллеги из Харвелловской лаборатории в Дидкоте (Великобритания) приводят оценки, в соответствии с которыми на высотах, где летают пассажирские самолеты, оксиды азота, «производя» озон, оказывают на потепление планеты в 30 раз более сильный эффект, чем то же количество выбросов вблизи поверхности. По мнению Джонсона, выбросы оксидов азота из реактивных двигателей вносят такой же вклад в глобальное потепление, как и все остальные выбросы вместе взятые.

Эти выводы могут усложнить задачу Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА), которое пытается оценить влияние на окружающую среду будущего флота сверхзвуковых пассажирских самолетов. Последние данные НАСА, похоже, снимают беспокойство по поводу того, что полеты сверхзвуковых самолетов приведут к разрушению стратосферного озона. Теперь эти данные указывают на другой эффект: сверхзвуковые самолеты станут способствовать «производству» тропосферного озона и тем самым будут вносить вклад в глобальное потепление климата.

Исследователи отмечают, что по сравнению с диоксидом углерода озон куда менее эффективный парниковый газ. Тем не менее, по словам Джоэла Леви из Агентства по охране окружающей среды, «эта проблема определенно требует внимания».

Паучьи сети и шелк

Шелк и конструкция паутины подчиняются тем же правилам и ограничениям, которые действуют в «человеческом» материаловедении и строительной инженерии. Возможно, нам есть чему поучиться у пауков

ФРИЦ ФОЛЬРАТ

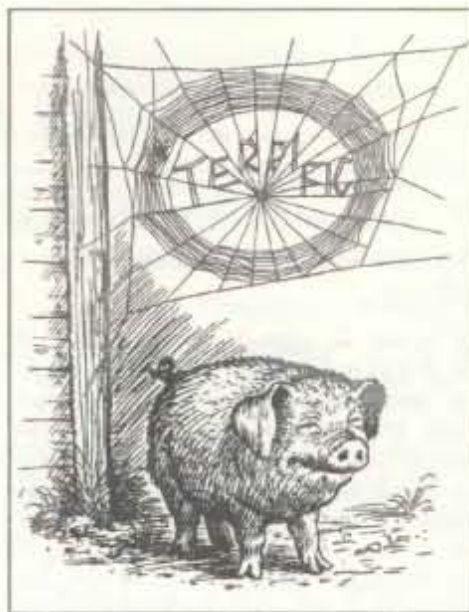
ПАУКИ, наверное, более известны своими замечательными достижениями в строительстве, чем изготовлением материалов для этого. В отличие от нитей, производимых гусеницами тутового шелкопряда (*Bombyx mori*), паучий шелк еще не нашел широкого применения человеком. Правда, паучьи тенета используются в качестве перевязочного материала и даже рыболовных сетей, но сама их шелковая нить пока применяется только для визиров в оптических приборах.

А ведь шелк паучьих тенет обладает многими ценными свойствами. Он гораздо прочнее, чем у тутового шелкопряда, и, кроме того, разнообразнее: пауки производят различные его типы для разных целей. Такое качественное многообразие шелка привело к эволюции обширнейшего спектра конструкций паутины.

Сравнивая свойства шелка у пауков и их хорошо изученного «коллеги» — тутового шелкопряда, можно получить первое представление о путях развития структур, позволяющих паукам плести их удивительные сети. А изучая функциональную механику различных типов трехмерных тенет, начинаешь понимать, как жесткость шелка ограничивает диапазон конструкций сетей и ловчие возможности у большинства пауков.

Шелк, как и всякий строительный материал, в конечном счете сковывает архитектурную деятельность паука. От любой структуры, будь то мост или сеть, нельзя требовать большего, чем может обеспечить материал, из которого она сооружена, — конечно, если строитель не знает какой-то особой уловки.

Хитроумная героиня сказки Э. Уайта «Сеть Шарлотты» — пример паука, обладающего именно такой особенностью. Блестяще используя несложные приспособления, обыкновенный паук-крестовик (*Araneus diadematus*) превратил неустранимый недостаток шелка — мягкость во влажном состоянии — в неоценимое преимущество. Его уловка, заключа-



ющаяся в том, что определенные нити сети покрыты водой, намного повысила эффективность расходов на ее создание. Она также позволила предкам крестовика освоить новую экологическую нишу — открытые пространства.

Это приспособление паука-крестовика дает хороший пример важного феномена эволюции — ограничений. Эволюционные изменения обусловлены адаптивными сдвигами в морфологии и поведении. Такие постепенные модификации в конце концов приходят в противоречие с физиологическими или физическими ограничениями. Ломка ограничений открывает новые возможности. Здесь очевидна аналогия с техническим прогрессом человечества.

Пауки и бабочки-шелкопряды — вовсе не близкие родственники, однако их шелк весьма сходен. И у тех и у других животных в его состав входит белок кератин, присутствующий также в волосах, ногтях и перьях. В волосах и ногтях содержится α -кератин, молекулы которого представляют собой цепочки из аминокислот, имеющие структуру так называемой α -спирали, и образуют, переплетаясь,

суперспиральные нити. Возможно, предковые паукообразные использовали α -кератин как цемент для покрытия яиц, а предки современных насекомых — для прикрепления коконов с развивающимися личинками к собственному телу.

И у шелкопрядов, и у пауков сформировалась насосно-клапанная нагнетающая система, позволяющая образовывать белковые нити. Вместо того чтобы выделять медленно высыхающий гель α -кератина, протоки желез сгущают это вещество до состояния высокой вязкости, превращая его в нематический жидкий кристалл, в котором молекулы расположены параллельными рядами. Значительные сдвиговые усилия, прикладываемые нагнетающей системой, вероятно, способствуют распрямлению появляющейся нити, заставляя множество α -цепей формировать устойчивую третичную структуру, называемую складчатым β -слоем. У шелковичного червя такие слои накладываются друг на друга гармошкой и упаковываются в кристаллы (см. рисунок на с. 48—49).

Эти белковые кристаллы в свою очередь погружены в резиноподобный матрикс, образованный некристаллизованными аминокислотными цепями. Напротив, их спирали беспорядочно переплетены друг с другом. Именно благодаря неупорядоченности шелк, как и резина, исключительно эластичен. Растягивание нити распрямляет цепи, выводя их из хаотического состояния, чему они сопротивляются. Если нить отпустить, они снова свернутся, возвратившись в устойчивое высокоэнтропийное состояние.

ПАУК *Araneus diadematus*, ставший героем сказки Э. Уайта «Сеть Шарлотты» (см. рисунок на этой странице), преодолел ограниченные возможности материала — шелка, научившись строить высокоэффективную по действию и совершенную по структуре колесовидную сеть, как показанная на иллюстрации справа.

При большой эластичности шелк весьма прочен, будучи композиционным материалом подобно смоле с наполнителем из стекловолна. Его кристаллы и матрикс устойчивы к разрушению. Натянутая нить обычно лопается в результате углубления поверхностной трещины. Силовые линии, проходящие вдоль волокна, у вершины трещины собираются в пучок и заставляют ее распространяться все с большей скоростью, фокусируя и локально увеличивая напряжение. Однако такие трещины могут расти, только если не встречают сопротивления. А кристаллы в резиноподобном матриксе образуют препятствия, отклоняющие и ослабляющие разрывающую силу.

Шелк образуется в жидком виде в крупных абдоминальных железах и выделяется наружу через конические прядильные трубочки. У гусеницы шелкопряда находящийся в голове «насос» выдавливает двойное волокно. У пауков шелковое волокно выходит из «батарей» прядильных трубочек, расположенных на вершинах трех пар так называемых паутинных бородавок. (Последние развились в ходе эволюции из пар конечностей, исходно служивших, вероятно, для удержания яиц у тела животного.) Поскольку шелк выделяется парными органами, каждая нить состоит из двух тяжей.

Хотя все детали работы клапанов и механизмов формирования шелковых нитей пока не известны, можно предположить, что какие-то сочетания выдавливающих сил и молекулярного состава жидкого α -кератина приводят к образованию различных типов шелка. Действительно, его аминокислотный состав у шелкопряда и пауков неодинаков, причем у последних он варьирует даже в пределах вида.

Пауки, по-видимому, способны частично контролировать свою прядильную систему. Например, у некоторых видов могут изменяться диаметр, прочность и эластичность нити в момент ее образования. Похоже, что это обеспечивается регуляцией клапанов, а не химического состава шелка. Если требуется коренным образом изменить его тип, производство шелка просто переключается с одной паутинной железы на другую. Например, самка обыкновенного крестовика способна производить по крайней мере семь различных типов шелка.

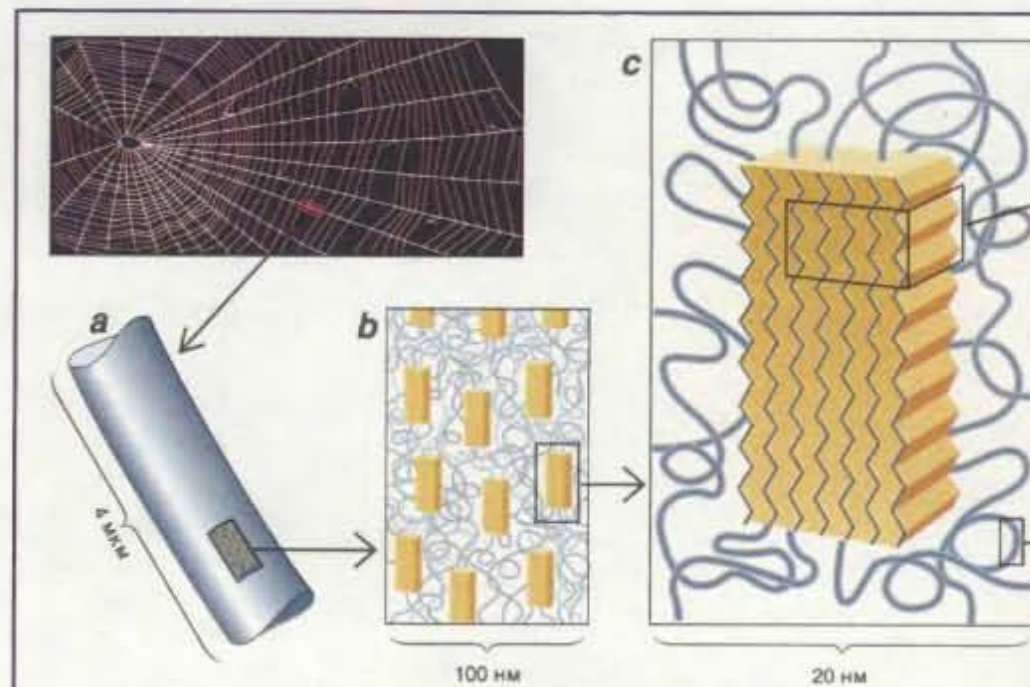
Наверное, в скором будущем человек сможет использовать паучий шелк, и не только в оптических приборах. Недавно удалось синтезировать ответственные за него гены и добиться их экспрессии в бактериях; эти работы уже запатентованы.

ЭВОЛЮЦИЯ огромного разнообразия паутинного шелка отражается в колоссальном обилии типов тенет. Все их конструкции являются производными простой сети, использовавшейся предками современных пауков для выставления своих нор более 380 млн. лет назад. Предполагается, что у них, как и у «живого ископаемого» — паука *Liphistius*, нити, расходящиеся от входа в норку, служили сигнальными проводами и направляющими «перилами» для незадачливых путешественников (кем могли быть последние, несложно догадаться, ведь как раз в девоне начали появляться насекомые). Для эффективной передачи сигналов эти нити, возможно, были приподняты над землей и натянуты между небольшими возвышениями.

«Перильный» тип паутины, как у *Liphistius*, вероятно, является предковым. Но в некоторых своих современных вариантах он, безусловно, не примитивен: подвешенная система из нескольких расходящихся нитей бывает технически сложно организованной. Со временем такие «перила» дали начало ловушкам, в которых свойства шелка используются полнее. Напри-

мер, воронковидная сеть лабиринтового паука (*Agelena labyrinthica*) состоит из тонкого прочного полотнища, туго натянутого горизонтально благодаря боковым, верхним и нижним расчаливающим, или направляющим, нитям. Паук бегает по такой сети, собирая упавшую или вспрыгнувшую на нее добычу. Колебания нитей указывают ему на присутствие и местоположение жертвы.

Тенета лабиринтового паука даже снабжены механизмом, усиливающим колебания, вызываемые добычей. От чрезмерного натяжения несколько нитей всегда перескакивают в новое положение, встряхивая при этом всю конструкцию. Это приспособление, скорее всего, необходимо для успешной охоты. В своего рода гонке вооружений между тенетными пауками и их жертвами последние постоянно совершенствуют способы избегания ловушки. Например, чешуйки бабочек легко приклеиваются к липким паутинным нитям, но в то же время и легко отстают от тела самого насекомого, позволяя ему ускользнуть от паука, оставив тому сброшенные чешуйки на выведенной из строя паутине.



Структура паутинного шелка

Если рассмотреть паутинную нить (а) при увеличении, видно, что это композиционный материал, состоящий из беспорядочно спутанных белковых нитей — полипептидных (т. е. состоящих из аминокислотных остатков) цепей, имеющих структуру α -спирали, и упорядоченных кристаллов (b, c), образованных полипептидными цепями разного размера, организованными в структуру наподобие гармошки, называемую складчатым β -слоем (d). Скрученная α -спиральная структура придает шелку эластичность. Когда из специальной железы животного выделяется паутинная нить, срезающие усилия (e) разрывают водородные связи в некоторых α -спиралях, и они превращаются в β -слои (f). Сведения о молекулярной структуре шелка получены в основном при изучении гусениц шелкопряда; предполагается, что у паучьего шелка строение сходное.

Другой основной тип тенет можно назвать «воздушным нокадаун». Эта паутина, представляющая собой трехмерный комплекс нитей, сшибает добычу на лету; ее часто можно видеть в кустах или гаражах. Такие структуры пауку особенно трудно контролировать, что ясно при сравнении числа клептопаразитических посетителей на них и на тенетах иных типов. В трехмерных структурах «незванные гости» (часто — другие пауки) могут быть весьма обильны. Они относительно безнаказанно перемещаются по чужой паутине, собирая мелкую добычу или даже выхватывая крупных насекомых прямо из-под мощных когтей хозяина.

Однако, чтобы обеспечить себя регулярным питанием, строители большинства сетей типа «воздушный нокадаун» располагаются вблизи определенных ловчих участков, за которыми относительно нетрудно следить. В трехмерных тенетах черного паука-ткача (*Latrodectus mactans*) такой участок образуют особые нижние вертикальные нити, густо расположенные и покрытые вязким клейким веществом. Как только эти нити прилипают к ползущему насекомому, их связь с

землей рвется — и жертва поднимается вверх, где паук ее и поедает.

В других трехмерных тенетах, как, например, у паука *Neritene radiata*, ловчим участком служат нелипкие полотнища. Этот паук передвигается под своей куполообразной сетью и атакует упавших на нее жертв, сбивая в полете переплетением верхних растягивающих нитей.

Хотя каждый из трех описанных выше типов тенет работает по-своему, основной принцип функционирования у них одинаков. Летящее или ползущее насекомое задерживается сетью, о чем сигнализируют колебания или изменение натяжения структурных нитей. Задачу остановки жертвы, т. е. рассеивания ее кинетической энергии, выполняют смещающиеся или рвущиеся нити. Эта картина аналогична тому, что происходит, когда злополучный воздухоплаватель на воздушном шаре падает на дерево: прочность и упругость ветвей, их напряжение и переплетения определяют, как глубоко провалится шар в пол, прежде чем остановится в своем падении.

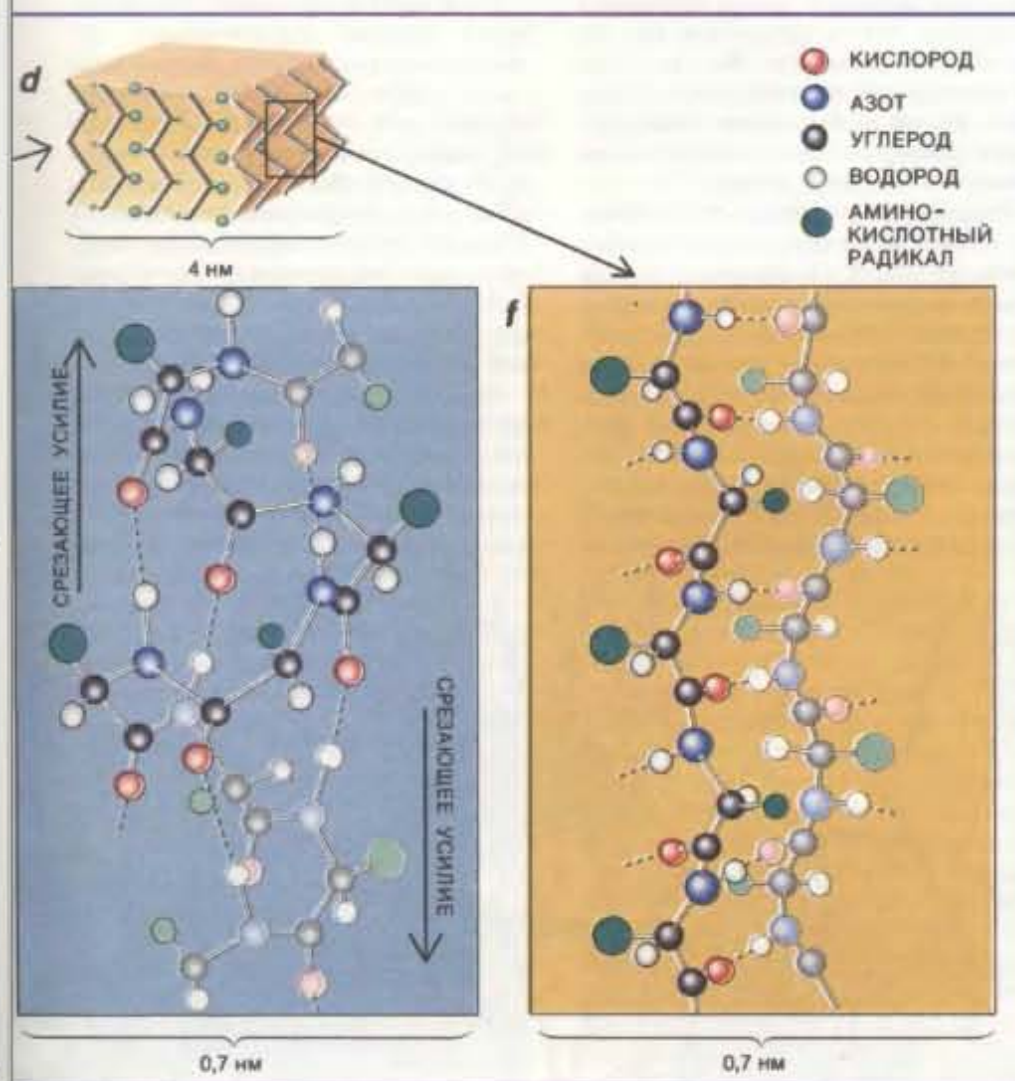
Рассеивающая энергию чаша нитей, имеющаяся в трехмерных тенетах,

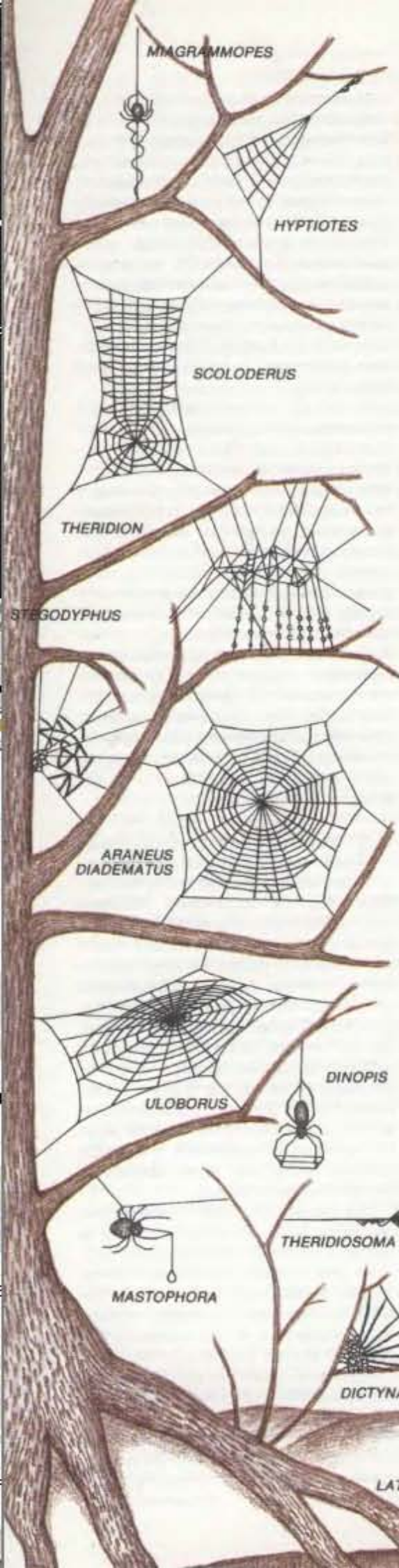
отсутствует в колесовидных сетях, свойственных, например, пауку-крестовику. Эти двумерные структуры работают совершенно по-иному, причем именно в них козволлюция конструктивных принципов и строительных материалов наиболее очевидна. Поскольку густых сплетений, которые могли бы удерживать насекомое, здесь нет, оно может пролетать сквозь сеть, если хотя бы несколько ее нитей разорвано. Поэтому в двумерных тенетах нужны более совершенные материалы и архитектура, чем в трехмерных.

Пожалуй, лучше всего изученная двумерная конструкция — это полярные тенета, типичным примером которых является колесовидная сеть крестовика. Она всем хорошо знакома. Твердые сухие нити радиально расходятся от центра, подобно спицам велосипедного колеса. К ним приклеена наложенная плотной спиралью одна длинная нить из липкого шелка. Функции этой сети, как и всякой другой, разнообразны — от своевременного предупреждения о появлении хищников или других непрошенных гостей (например, клептопаразитов) до обеспечения «танцевальной площадки» для ухаживающего самца. Однако главная ее функция — служить ловушкой для добычи.

ЧТОБЫ быть эффективной ловушкой, тенета должны, во-первых, останавливать стремительно летящее насекомое (в масштабах паутины сравнимое с управляемой ракетой), а затем удерживать его столько времени, сколько потребуется пауку для осмотра и укуса жертвы. Выполнение этих задач обеспечивается архитектурой сети. Однако двумерные колесовидные тенета не могут удерживать добычу, рассеивая ее энергию путем разрывания нитей, как в случае трехмерной сети. Вместо этого рассеивание и поглощение кинетической энергии добычи совершаются благодаря особым свойствам самих шелковых нитей, особенно ловчих.

Эти нити обладают прочностью при сильном растяжении (ведь они не должны рваться) и оказываются мягкими при слабом, чтобы не давать опоры пойманному насекомому. Их шелк должен растягиваться, причем не возвращаться тут же в прежнее положение за счет упругости, чтобы не отбрасывать налетевшую жертву назад наподобие трамплина. Шелк должен также быть достаточно эластичным, чтобы выдержать непрерывное натяжение и расслабление сети, раздуваемой ветром или деформируемой гибкими опорами — травинками, ве-





точками и т. п. гити ловчей зоны очень клейкие, и поэтому при любом ее значительном провисании или сминании они быстро слипнутся, что чревато образованием просветов в однородном полотнище, т. е. лазеек для потенциальных жертв.

Таким образом, для эффективного функционирования колесовидных тенет в них должны быть прочные и упругие ловчие нити, хорошо поглощающие энергию за счет деформации и быстро возвращающиеся в исходное состояние без провисания. Это весьма непростое требование, поскольку сочетание таких свойств у шелка обычно не наблюдается. Несмотря на свою прочность, типичные паутинные нити (например, в лучах «колеса») обычно рвутся, если растягиваются более чем на 25%. Прочность их высока при меньшем растяжении, а в отсутствие напряжения для восстановления первоначальной длины им необходимо некоторое «время провисания».

Однако ловчий шелк обыкновенного крестовика демонстрирует совершенно необычные свойства, неизвестные у других типов шелка. Нити ловчей спирали могут быстро сжиматься до малой доли своей исходной длины без провисания. В то же время эти нити удается, не порвав, растянуть более чем в четыре раза. Другими словами, растяжимость шелка составляет несколько тысяч процентов без заметного провисания и с быстрым (хотя отнюдь не мгновенным) возвратом. Казалось бы, такой шелк должен в корне отличаться от прочих его типов, но это вовсе не так.

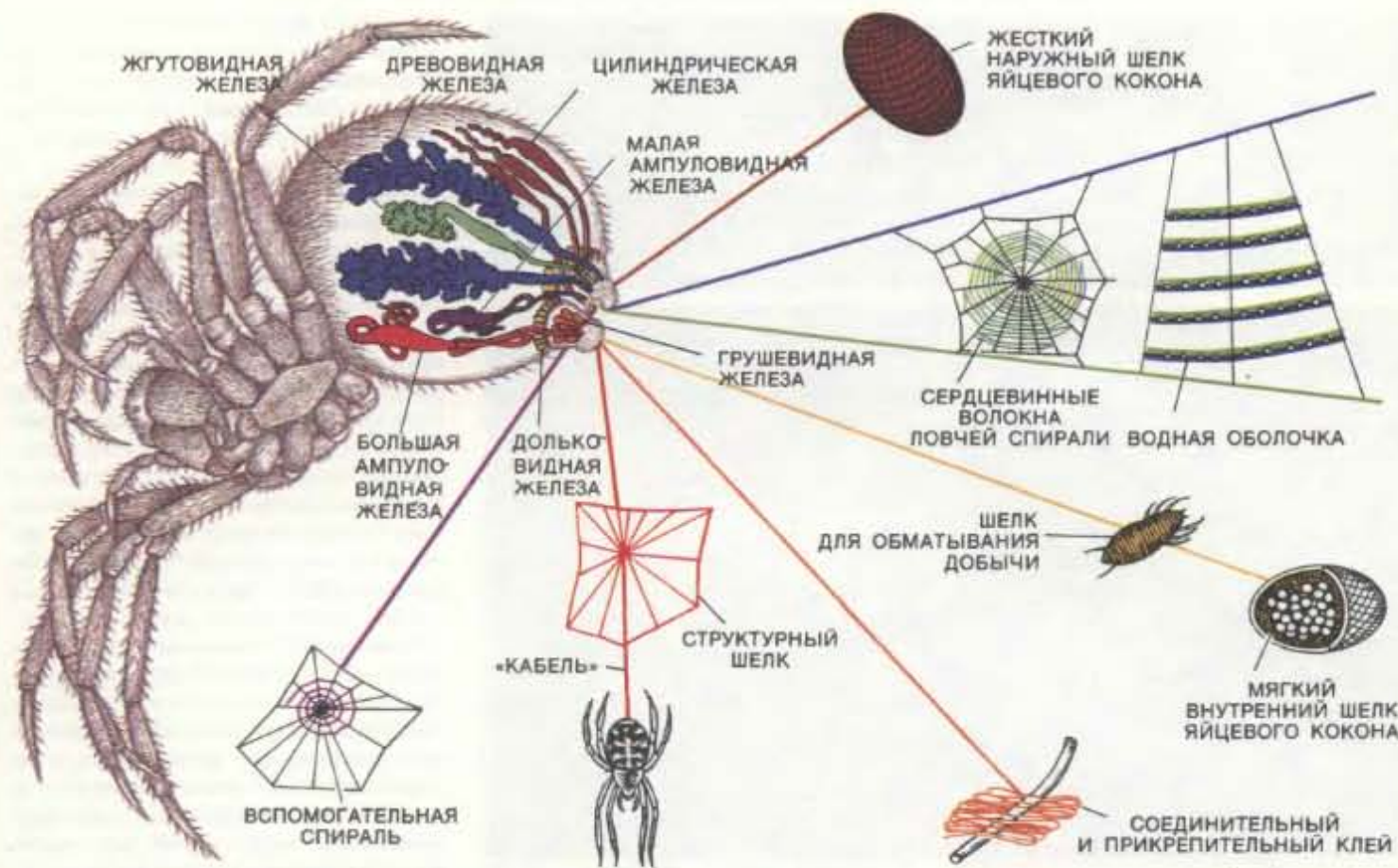
Оказывается, у паука *A. diadematus* ловчий шелк просто видоизменен таким образом, что можно говорить уже не о свойствах композиционного материала, а скорее об особом механизме. Каждая нить ловчей спирали крестовика состоит из пары сердцевинных волокон, окруженных оболочкой из очень вязкой жидкости, которая вырабатывается особыми железами, находящимися рядом с теми, что производят сердцевинные волок-

на. В момент выделения последних она обволакивает их непрерывной пленкой, а затем, впитав атмосферную влагу, быстро разделяется на мелкие капли.

Химический анализ, проведенный Э. Тиллингастом и его коллегами в Нью-Гэмпширском университете, а также Р. Уильямсом, У. Фейрбротером и мною в Оксфордском университете, показал, что эта жидкость содержит ряд интересных веществ. Клейкость смеси обусловлена микроскопическими гликопротеиновыми «бубликами», подобно бусинам усеваящими сердцевинные волокна. Гликопротеины находятся в растворе пяти главных компонентов, близкородственных аминокислотам, служащих у пауков нейромедиаторами. Эти аминокислоты приобрели новую функцию в связи со своей гигроскопичностью, т. е. способностью притягивать воду.

Необходимость привлечения воды в ловчие нити не случайна. Шелк в сухом виде обычно жесткий и сопротивляется растяжению, а уж если растянут, то часами восстанавливает исходную длину. Когда же в сердцевинные волокна проникает вода, они становятся легкодеформируемыми и приобретают хорошие вязкоупругие свойства. В большинстве случаев такая мягкость и медленное восстановление формы нежелательны, поскольку нити не должны растягиваться во много раз. (Достаточно представить себе сеть, все нити которой обладают этим свойством, — какую путаницу внес бы в конструкцию своим весом проходящий по нитям паук!) В связи с этим все предковые и большинство современных шелковых волокон относятся к сухому типу и иногда даже защищены от влаги тонкой маслянистой оболочкой.

Однако в ловчей спирали эти обычно нежелательные свойства полезны, поскольку ее нити во влажном состоянии способны поглощать гораздо больше кинетической энергии. Хотя неизвестно, как вода увеличивает их



РАЗЛИЧНЫЕ ТИПЫ ШЕЛКА, выполняющие неодинаковые функции, могут производиться одним и тем же пауком. Например, у *A. diadematus* в разных железах образуется 7 вариантов шелка, разные по аминокислотному составу.

пластичность на молекулярном уровне, мы знаем, как она изменяет макроскопические свойства шелковой нити. Д. Эдмондз из Кларендоновской лаборатории в Оксфорде и я обнаружили, что капли жидкости создают как бы миниатюрные лебедки, состоящие из троса и барабана. Сердцевинные волокна играют роль троса, а капельки водянистой оболочки — барабана. Сила, наматывающая трос на барабан, создается поверхностным натяжением капель.

Будучи пластифицированными, сердцевинные волокна мягкие и вязкоупругие. Даже небольшое растягивающее усилие деформирует их, а возвращение к исходной длине происходит очень медленно. Однако поверхностное натяжение достаточно сильно для того, чтобы замотать эти пас-

ОГРОМНОЕ РАЗНООБРАЗИЕ конструкций ловчей сети демонстрируется этими конкретными примерами.



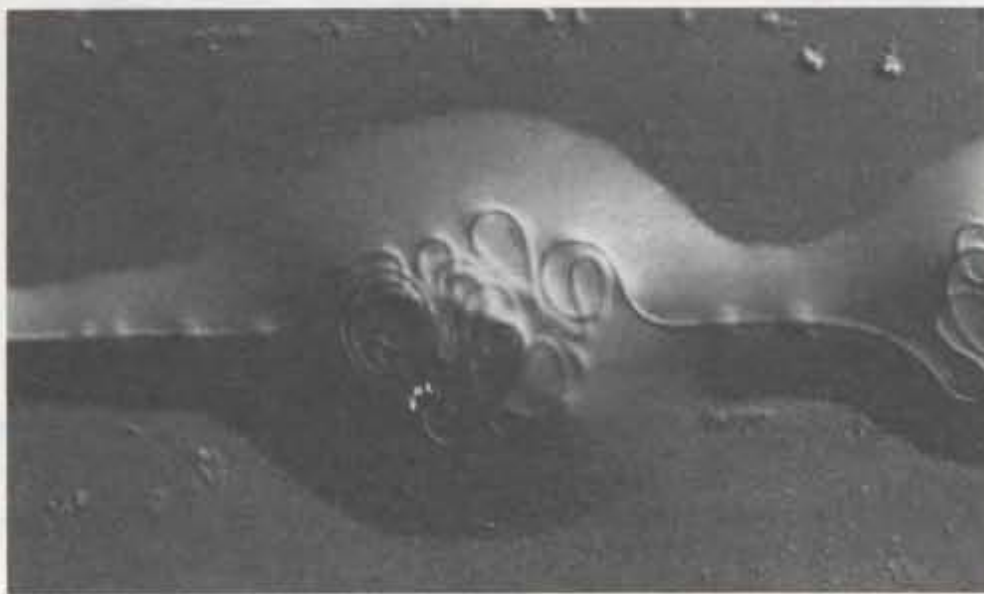
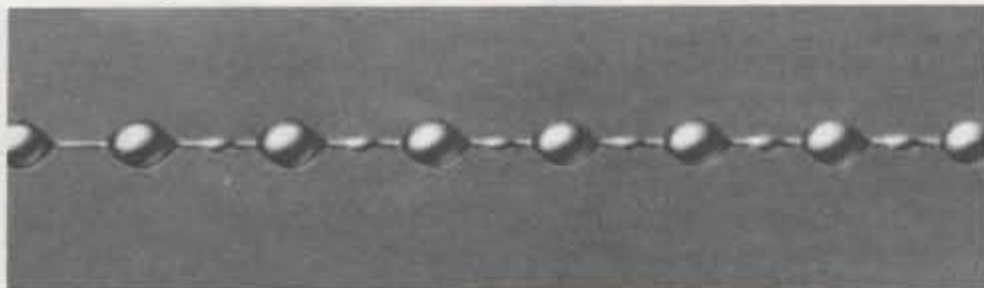
ивно провисающие волокна внутри окружающих их капель. Когда липкая нить то растягивается, то сокращается, сердцевинные волокна внутри капели соответственно то раскручиваются, то скручиваются. В результате вся система постоянно напряжена и ловчие сети находятся в натянутом состоянии. Энергия дующего ветра или попавшего в сеть насекомого поглощается не самим шелком, а системой в целом.

Однако сердцевинные волокна играют и самостоятельную роль. Пластифицированные, они в принципе похожи на усиленную резину; здесь непосредственно используется то, что «энтропийная» упругость зависит от температуры. Поскольку значительная часть кинетической энергии жертвы превращается в тепло, нити нагреваются. Это увеличивает их энтропию, следовательно, сердцевинные волокна становятся прочнее. Поглощенная энергия незадачливой жертвы по сути дела укрепляет ловчие нити — и всего лишь потому, что они покрыты водной оболочкой, в чем и состоит хитроумная уловка паука.

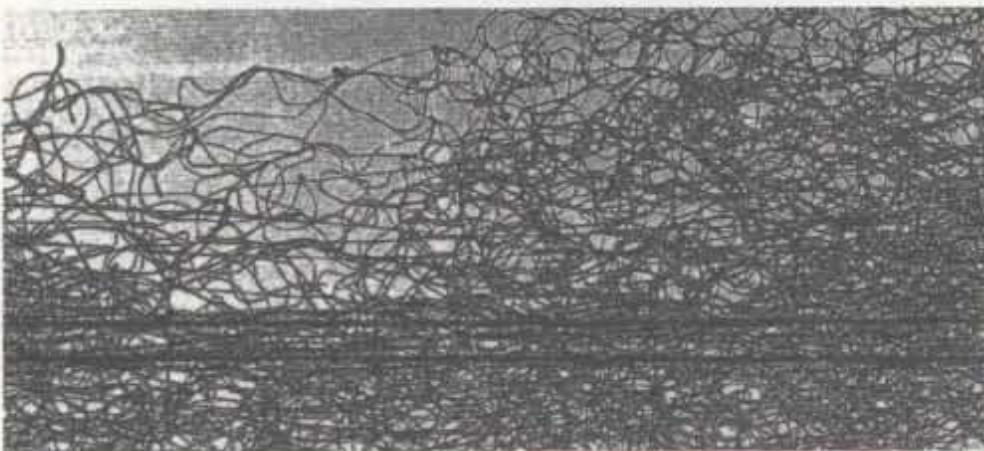
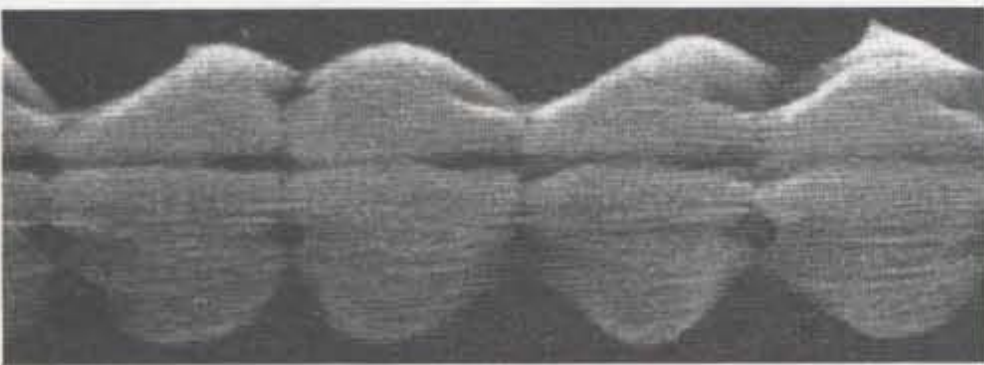
Растягиваясь, пластифицированные сердцевинные волокна сначала оказывают очень слабое сопротивление — до тех пор, пока удлинение не

достигнет примерно 300%. Затем их сопротивление начинает резко возрастать; при этом они ведут себя в точности, как сухая паутина. В полностью растянутом состоянии полимерные цепи претерпевают переход в стекловидное состояние, при котором вязкоупругое рассеивание энергии обеспечивается «энтропийной» упругостью.

Оболочка паутинных нитей паука-крестовика защищает их и от растрескивания. Трещины, как уже говорилось, крайне опасны для находящегося в напряжении материала. Паутиновая нить, как и лента ткани или резины, легче рвется, если ее надрезать. Поэтому предупреждение растрескивания нитей является одним из важнейших условий повышения прочности паутины. В технике для подобных целей «нить» (например, стальная кабель) обычно покрывают краской. У пауков имеет место практически то же самое: эту роль играет тонкий слой липидов в случае сухих нитей и водная оболочка — на ловчих. Чтобы предохранить паутину от бактерий и грибов, способных поедать питательные белки оболочки нитей, в состав ее капель включены фунгицидные и бактерицидные агенты. (Антисептические свойства паутины, возможно, объясняют ее добрую славу в качестве



ЛОВЧАЯ НИТЬ эрибеллятного паука, такого, как *Araneus diadematus*, покрыта водной оболочкой (вверху; увеличение $\times 100$). Поверхностное натяжение каждой капли заставляет волокно скручиваться, образуя систему наподобие лебедки, показанную в «смотанном» состоянии (внизу; увеличение $\times 300$).



НИТЬ КРИБЕЛЛЯТНОГО ПАУКА «расчесана» на сотни тяжей (вверху; увеличение $\times 200$; внизу; $\times 1000$), которые в результате скручиваются в петли. Такие нити столь же липкие, как и покрытые оболочкой нити эрибеллятных пауков, но на «расчесывание» требуется больше энергии, чем на образование оболочки.

народного перевязочного средства.)

Появление в ходе эволюции сети, требующей относительно мало затрат — как времени, так и материалов на постройку, — позволило паукам-кругопрядам, близким к *Araneus*, заселять местообитания, подвергающиеся опасному воздействию окружающей среды. Тенета плетутся на двумерной раме, поддерживаемой крепежными нитями, которые бывают любой длины. Такие сети можно раскидывать прямо в воздухе, так что кругопряды не привязаны к густым сплетениям поддерживающей растительности, необходимым паукам с трехмерными тенетами. В результате кругопряды способны как бы летать, хотя у них нет крыльев. Занимая воздушное пространство лесов и полей, кругопряды могут охотиться на летающих насекомых.

Адаптивная радиация двумерных тенет, включающих в себя пластифицированный шелк и клей на водной основе, привела к широкому разнообразию архитектуры сетей и способов ловли добычи. Пауки-кругопряды так успешно приспособились к своей экологической нише, что насекомые лишь немногих групп (главным образом ктыри и стрекозы) могут составить им существенную конкуренцию. Сооружаемые на время и без значительных расходов тенета, устойчивые к сильным деформациям, полезны и в других открытых местообитаниях типа живых изгородей и лугов, где эти пауки также встречаются в изобилии.

КОЛЕСОВИДНЫЕ сети небольшой группы сильно отличающихся от кругопрядов пауков, хотя и сходны с тенетами последних по общей конструкции, не могут конкурировать с ловчими приспособлениями крестовика, так как не содержат пластифицированного шелка и особой системы «лебедок». У этих кривеллятных пауков, названных так из-за наличия лобовочной пластинчатой паутинной бородавки — кривеллума (от лат. *stratum* — сито), к которым принадлежит, например, *Uloborus*, используется другая стратегия повышения прочности и клейкости ловчих нитей. Вся их двумерная сеть состоит из сухого шелка, но сам он высокоспециализирован. Сотни мельчайших прядильных трубочек, собранных на кривеллуме, производят многотяжевую, как бы расчесанную ленту из тонких нитей без оболочки. Диаметр каждой нити менее 0,05 мкм — в отличие от примерно 1,0 мкм в ловчем шелке кривеллятных пауков, у которых, как у крестовика, предковый кривеллум отсутствует.

У кривеллятных пауков нити про-

тягиваются через частый гребень на голенях задних ног. Такое расчесывание либо вытягивает нити, придавая им жесткость, либо сообщает им электрический заряд. В любом случае в результате «расчесывания» они скручиваются петлями и образуют как бы пружину. В центре этой пружины находятся гораздо более толстые и прочные осевые тяжи. Поскольку «расчесанные» волокна совершенно сухие, липкость такой сети обусловлена, по-видимому, электростатическими силами или же в ней просто запутываются конечности и волоски насекомых.

Удар жертвы, вероятно, растягивает как осевые, так и расчесанные нити, обрывая их одну за другой, что обеспечивает рассеивание энергии. Сотни жестких нитей действуют одновременно и поэтому весьма эффективно. Поскольку кинетическая энергия гасится за счет разрыва волокон, принцип действия сети кривеллятных пауков такой же, как описанных выше сухих трехмерных опутывающих тенет. Однако они поглощают энергию хуже, чем покрытые водой эрибеллятные пауков. Этот недостаток частично компенсируется сходной, если не большей, липкостью и возрастанием срока службы сети. Несмотря на такие компенсирующие факторы, кривеллятных пауков примерно в 100 раз меньше, чем эрибеллятных, и по числу видов, и по численности.

Эта разница объясняется теми же соображениями, какие имеют значение для любого строительного проекта, — экономичностью. Затраты на ловчую нить у кривеллятных пауков гораздо выше. На каждый ее сантиметр требуется больше белкового сырья и, кроме того, тратятся немалые время и энергия на расчесывание паутинных волокон. Действительно, нить одной и той же длины кривеллятный паук изготавливает в четыре раза дольше, чем эрибеллятный. Таким образом, хотя эти два типа ловчих нитей близки по эффективности, тенета эрибеллятных пауков выгоднее с точки зрения приспособленности.

ИТАК, за счет неслучайного «фокуса» пауки-кругопряды, подобные обыкновенному крестовику, ловко превращают превосходный, но все же ограниченный в своих возможностях материал — сухой шелк — в прекрасный поглотитель энергии. Весь секрет заключается в использовании гигроскопичных, притягивающих воду соединений, пластифицирующих шелк и приводящих в действие своего рода лебедки, поддерживающие натяжение ловчей нити.

Появление у пауков этого удивительного механизма повысило эффек-

тивность архитектурного решения колесовидной сети и позволило эрибеллятным кругопрядам занять сегодняшнее завидное место в большинстве экологических пищевых цепей с их участием. А чего еще можно было бы ждать от миллионов лет эволюцион-

ных «исследований и разработок»? В конце концов, если, как было недавно установлено, одно из раннемеловых ископаемых действительно относится к паукам-кругопрядам, то у них было более 130 млн. лет для завоевания своего нынешнего положения.

Наука и общество

Марри Гелл-Ман.
Одиноким Одиссеей физики
элементарных частиц

НЕ СТОИТ удивляться, что Марри Гелл-Ман, один из крупнейших физиков-теоретиков, имеет собственное объяснение того, почему так по-разному широк круг его интересов. В то время как большинство людей являются либо «Аполлонами», что означает обособленность и аналитический ум, либо «Дионисами», склонными к общению и обладающими интуицией, он сочетает в себе оба этих типа характера. «Некоторые называют таких людей «Одиссеями», — говорит Гелл-Ман, четко произнося каждый слог этого слова, вероятно, чтобы помочь мне его правильно зафиксировать. — Такое сочетание обрекает на одиночество».

Гелл-Ман, 62-летний профессор Калифорнийского технологического института (КТИ), известен главным образом как ученый в области физики элементарных частиц. Нобелевский лауреат, он является одним из главных создателей стандартной модели — тщательно разработанного теоретического подхода, описывающего поведение субатомных частиц и их взаимодействия. Среди других его достижений — предположение о том, что нейтроны и протоны, основные составляющие обычного вещества, состоят из более мелких фундаментальных частиц, называемых кварками.

Однако сфера физики слишком мала, чтобы вместить весь неутомимый ум Гелл-Мана. В его 17-страничной «персональной программе» перечислены такие области, как «естественная история (особенно изучение птиц), историческая лингвистика, археология, изучение основ психологии и творческого мышления». Далее там имеются «политические проблемы, связанные с контролем за состоянием глобальной окружающей среды (включая сохранение биологического разнообразия) и ограничением роста народонаселения, а также проблемы экономического развития и стабильности мировой политической системы (включая вопросы, связанные со

стратегическими вооружениями)».

Гелл-Ман соглашается с тем, что поле его деятельности сверхшироко. На самом деле он даже подсчитал, насколько он «сверхширок». «Я берусь делать примерно в 50 раз больше, чем кто-либо может осилить, и работаю с эффективностью порядка двух процентов. Таким образом, ежедневно я «борюсь» с коэффициентом 2500, и каждый день я отстаю на 8 лет. Девяносто восемь процентов моего времени теряются напрасно, совершенно напрасно». Он вздыхает.

Естественно, времени для интервью у него мало. Одну неделю Гелл-Ман занят как председательствующий и как основной докладчик на праздновании 100-летнего юбилея КТИ. На следующей неделе он улетит в Европу для участия в физическом симпозиуме. Сэкономленное время он отдает написанию книги, озаглавленной «Кварк и ягуар» («The Quark and the Jaguar») и посвященной наиболее интересующей его в данный момент проблеме: взаимодействию в природе между простыми явлениями типа кварков и сложными, такими, как ягуары. Однако у Гелл-Мана оказалось одно не включенное в расписание утро в конце его поездки в Нью-Йорк. Я имел возможность присоединиться к нему во время завтрака и затем проводить до аэропорта Ла Гардиа.

За столом в переполненном зале ресторана на Манхэттене, плотный человек с белыми, коротко стриженными волосами, в темных очках, казалось, находится у себя дома. Так и должно быть. Как и некоторые другие выдающиеся физики его поколения, он родился и вырос в Нью-Йорке, в семье еврейских иммигрантов из Европы. В его манере говорить, хотя она и является образцом эрудиции и космополитизма, по-прежнему сохраняется некоторый нью-йоркский оттенок.

Возможно, это проявляется в том, как он высказывает свое мнение о чем-либо. Писатели и журналисты, пишущие о науке, в большинстве своем «невежды» и «ужасное племя». Британские ученые имеют тенденцию «больше заботиться о том, чтобы выглядеть умными и парадоксальными,

чем о том, чтобы быть правыми». Гелл-Ман дает также не столь блестящие оценки некоторым выдающимся ученым. «Но я не хочу, чтобы цитировалось, как я нападаю на людей, — говорит он. — Это нехорошо. Некоторые из этих людей — мои друзья».

Мы коснулись молодых лет Гелл-Мана. Он поступил в Йельский университет в 1944 г. на пятнадцатом году жизни и окончил этот университет четыре года спустя, одновременно с другим человеком, также много добившимся в жизни, — с Джорджем Бушем. Хотя во время учебы в Йельском университете они принадлежали к разным кругам, Гелл-Ман и Буш все-таки познакомились десятилетия спустя, будучи членами правления Смитсоновского института. Гелл-Ман говорит: «Буш — славный парень, который устраивает очень хорошие вечеринки. Хотелось бы только, чтобы ему подобрали какую-нибудь работенку получше, чем управление страной».

Гелл-Ман был очень расстроен, когда не сумел добиться приемлемого с финансовой точки зрения приглашения в аспирантуру по физике в рамках программы Ivy League. Он опасался, что Массачусетский технологический институт, в котором ему предложили работать ассистентом у физика В. Вайскопфа, окажется местом для поденщиков, питомником для разведения скорее инженеров, чем настоящих ученых. «Но я пошел туда, и это было отлично». Вайскопф оказался «замечательным человеком и превосходным физиком». Кроме того, многие из его коллег были стипендиатами Ivy League, так что я не был изолирован от других».

После получения докторской степени в МТИ в начале 1951 г. Гелл-Ман направил свои усилия на то, чтобы обнаружить какой-то порядок в приводящем исследователей в замешательство множестве разнообразных адронов, которые возникают в ускорителях частиц. Адроны — это элементарные частицы, участвующие в сильных взаимодействиях, которые связывают нейтроны и протоны в ядрах атомов. В конечном итоге Гелл-Ман открыл квантовое свойство частиц, которое он назвал «странностью» и которое давало возможность



ЛЮБИТЕЛЬ-АНТРОПОЛОГ Марри Гелл-Ман в своем офисе в КТИ объясняет, как играть в западно-африканскую игру, известную под названием "Wari". Фотография: Дж. Арновский.

точно предсказать поведение новых экзотических адронов.

Основываясь на этом интуитивном открытии, Гелл-Ман создал систему классификации частиц, которую он назвал «восьмеричным путем» по аналогии с буддийским восьмеричным путем к просветлению. Этот термин был использован для поддержки популярного в 60-е годы представления о том, что физика элементарных частиц и восточный мистицизм глубоко связаны между собой. Гелл-Ман называет эту идею «вздором». Он говорит, что его тогдашний намек на буддизм (одна из других интересных его областей) был просто «шуткой, которую некоторые приняли всерьез».

Гелл-Ман подчеркивает, что он с легкостью мог бы следовать традиции и придумывать «красивые, помпезные имена для своих объектов, основанные на греческом языке и т.п. Я знаю, как это надо делать. Но обычно такие имена базировались на идеях, которые впоследствии оказывались неправильными. Например, „протон“ означает „первый“, а „атом“ значит „неделимый“. Выяснилось, что все это неверно! Поэтому я предпочел, что было бы лучше иметь дело с чем-либо шутливым».

В 1969 г. Гелл-Ман получил Нобелевскую премию за открытия, связанные с классификацией элементарных частиц и их взаимодействий (о странности частиц и восьмеричном пути). Между тем пятью годами раньше он разработал гораздо более исчерпывающую теорию (независимо предложенную также Джорджем Цвейгом). В ней предполагается, что нейтроны, протоны и все остальные адроны состоят из еще более простых частиц, названных кварками. Возможно, главным свойством кварков является то, что они несут дробные заряды. Протон, который имеет заряд +1, состоит из двух кварков с зарядами +2/3 и одного с зарядом -1/3. Нейтрон, не имеющий заряда, состоит из двух кварков с зарядом -1/3 и одного кварка с зарядом +2/3. Кварки связаны между собой глюонами — частицами, переносящими взаимодействие и названными (не Гелл-Маном) глюонами.

Гелл-Ман упорно стремится развеять два неправильных представления, сложившиеся по поводу истории кварков. Во-первых, он не просто взял этот неологизм в готовом виде из «Поминок по Финнегану». На самом деле он сначала решил, что звук, похожий на «кварк» («kwork», рифмующийся с «fork» — вилка) может служить хорошей «этикеткой» для новой частицы. И только потом, внимательно перечитывая роман Джеймса Джойса, — что Гелл-Ман делал часто начиная со времени его публикации в 1939 г. — он набрел на фразу «three quarks for musty mark» («три кварка для мастера Марка») и решил принять написание, употребленное Джойсом. (Гелл-Ман замечает, что у Джойса «кварк» обозначает одновременно и кварту пива, и крик чайки.)

Затем не следует забывать, что Гелл-Ман в одной из своих ранних работ предположил, что кварки — скорее «математическая» абстракция, чем «реальные» объекты. Гелл-Ман говорит, что он сделал такое различие, поскольку полагал возможным доказать, что кварки постоянно удерживаются глюонами внутри адронов и поэтому кварки невозможно изолировать и детектировать отдельно. «Я не хочу вступать в спор с философа-

ми, от большинства из которых у меня начинается невообразимая головная боль и которые говорят: „Что? Реальные частицы? Но их невозможно обнаружить! Что Вы имеете в виду, называя их реальными?“»

В проведенных в 70-х годах экспериментах были получены пока неяркие, но достаточно убедительные свидетельства в пользу предложенной Гелл-Маном модели удержания кварка (и основанной на понятии кварка более детальной теории, развитой Гелл-Маном с другими учеными и называемой квантовой хромодинамикой). «Но фактически из книги в книгу, выпускаемых авторами, пишущими о науке, и подобными им людьми, повторяется, что я в действительности никогда не верил в кварки, потому что я сказал, что они скорее всего имеют «математическую» сущность, — говорит Гелл-Ман. — Я постоянно страдаю от ужасных нападков из-за того, что оказался прав!»

В течение последнего десятилетия Гелл-Ман принимает уже меньше участия в текущих работах в области физики элементарных частиц. Он является скорее вдохновителем, чем активным исследователем — в области физики суперструн, чрезвычайно малых гипотетических частиц, волнообразные движения которых приводят к возникновению всех наблюдаемых частиц и сил в природе, включая гравитационные. Гелл-Ман говорит, что он испытывает отеческие чувства по отношению к суперструнам, поскольку написанная им в 50-е годы работа по теории дисперсии стимулировала создание первой модели струны. Он называет «сумасшедшими» людей, критикующих суперструны: «Им следовало бы попытаться глубже разработать эту теорию, вместо того чтобы нападать на нее».

В большей степени Гелл-Ман занят разработкой варианта квантовой механики, который можно было бы применить в космологии. Эта его работа частично вытекает из предположения, сделанного С. Хоккингом из Кембриджского университета и Дж. Хартлом из Калифорнийского университета в Санта-Барбаре, о том, что Вселенная полностью может быть описана квантовым уравнением с соответствующей волновой функцией. Однако возникает проблема: волновая функция описывает ряд возможных путей для частицы, и частица «выбирает» один из путей только тогда, когда кто-либо наблюдает этот процесс. Если в качестве частицы выступает вся Вселенная, то кто и где является наблюдателем?

Гелл-Ман замечает, что в конце 50-х годов Х. Эверетт III из При-

стонского университета предложил свободный от наблюдателя вариант квантовой механики, называемый концепцией «множественности миров». Этот вариант подразумевал, что частица следует по каждому из путей, описываемых волновой функцией, — но в разных вселенных. Совместно с Хартлом, своим бывшим студентом, Гелл-Ман разрабатывает модифицированный вариант концепции Эверетта, названный интерпретацией «множественности историй».

Гелл-Ман рассказывает, что, выбирая слово «история», он и Хартл ставили своей целью отмежеваться от «ошибочной» веры Эверетта в альтернативные вселенные. Гелл-Ман вспоминает замечание своего коллеги, что «если вы верите в интерпретацию Эверетта, то вам следует играть в русскую рулетку с высокими ставками, поскольку в одном из миров вы обязательно выиграете кучу денег».

Гелл-Ман начал также с большим энтузиазмом исследовать категорию сложного, которая, по его мнению, включает принципы, лежащие в основе фактически всех его других исканий и интересов. В начале 80-х годов с его помощью был основан Институт в Санта Фе (шт. Нью-Мехико), где исследователи занимаются изучением таких «адаптивных сложных систем», как языки, мозг человека и народное хозяйство. Он попытался также оставить свой след и в этой области, предложив новый термин *plectics*, который относится к изучению категорий простого и сложного во всех их бесчисленных проявлениях. (Этот термин пока не привился, возможно, из-за того, что он имеет греческий корень.)

Мы приехали в аэропорт, и запас нашего времени для беседы подошел к концу. Мы едва коснулись политической деятельности Гелл-Мана, истоки которой простираются к его детству. В 1944 г. он поступил в Йельский университет с опозданием и имел возможность принять участие в качестве добровольного помощника в перевыборной кампании президента Франклина Д. Рузвельта. В 60-х годах, будучи научным консультантом Пентагона, он помогал формировать политику, которая привела к тому, что США и СССР наложили запрет почти на все виды средств противоракетной обороны. Гелл-Ман говорит, что он был в шоке, когда в 1983 г. «этот третьесортный актер Ray-gun*» предложил программу

* Непереводимая игра слов: Ray-gun — лучевое оружие (англ.) читается так же, как Reagan — фамилия президента Рейгана. — Прим. перев.

„Звездных войн“, которая должна была аннулировать этот запрет».

Став в 1979 г. директором Фонда Макартура, Гелл-Ман принялся за создание программ в области охраны окружающей среды, контроля над народонаселением, а также для решения других глобальных проблем. Недавно он добился, чтобы часть денежных средств Фонда Макартура была направлена на исследование вопроса о том, как подсознание влияет на психическое здоровье. Заинтересовавшись ролью, которую его собственное подсознание играет в творческих достижениях, Гелл-Ман убеждал психологов и психоаналитиков изучать подсознание еще в 60-х годах, но ему, по существу было сказано, чтобы он занимался своим делом.

Я успел задать вопрос об исторической лингвистике. «Лингвистика — это область, в которой я чувствую себя очень хорошо», — признался Гелл-Ман. Действительно, он участвует в подготовке к печати и пишет предисловие и главу для книги на эту тему. В предисловии Гелл-Ман кратко защищает теорию, предложенную Дж. Гринбергом из Станфордского университета, согласно которой можно построить генеалогическое древо для всех языков мира с помощью анализа их сходных черт. Некоторые лингвисты — настоящие, профессиональные лингвисты — возражают против этой теории, говоря, что лингвистические доказательства Гринберга не могут служить достаточной поддержкой для его выводов. Гелл-Ман находит такую точку зрения «настолько глупой при пристальном рассмотрении, что только диву даешься, как люди могут ее придерживать».

Когда Гелл-Ман проходил регистрацию в аэропорту, он начал вслух беспокоиться, что ему может не хватить денег на такси, чтобы доехать от аэропорта в Калифорнии до дома. Я дал ему взаймы 40 долл., и он выписал мне чек. Вручая его мне, он предложил мне облудать, стоит ли предъявлять чек к оплате, поскольку его автограф может оказаться «много ценнее».

Затем Гелл-Ман устремился к выходу на посадку. «Я люблю быть первым в самолете», — сказал он. Пока я бежал следом за ним, я, наконец, набрался достаточно храбрости упомянуть, что некоторые ученые, признавая его острый ум, все же предполагают, что он является, ну, чем-то вроде всезнайки. «Я не знаю, что это означает», — бросает Гелл-Ман через плечо. Несколько секунд спустя он заявляет: «Я действительно знаю многое о многом, это правда!».

Джон Хорган

Инфракрасные видеокамеры

Эти устройства, похожие на обычные видеокамеры, способны «видеть» тепловое излучение.

Новая инфракрасная техника может иметь множество применений, включая ночное видение и визуализацию тепловых потоков, а также использоваться в медицине

ДЖЕРРИ СИЛВЕРМАН, ДЖОНАТАН М. МУНИ, ФРИМАН Д. ШЕПЕРД

«Тепло, тепло, больше тепла! Потому что мы умираем от холода, а не от темноты. Убивает не ночь, а мороз».

СВЕТ обычно ассоциируется с теплом, а темнота — с холодом, как показывает приведенная выше цитата испанского писателя Мигеля де Унамуно. Оказывается, что эта ассоциация имеет реальную основу. Теплый объект испускает больше излучения, чем холодный. Более того, он излучает в основном видимый свет, в то время как холодный — большей частью инфракрасные лучи.

Различие в количестве и типе излучения, испускаемого теплым и холодным объектами, лежит в основе создания новой техники — инфракрасных видеокамер. Поскольку человеческий глаз хорошо чувствует видимый свет и практически нечувствителен к инфракрасному излучению, большое количество информации об объекте, содержащейся в его инфракрасном излучении, теряется. Инфракрасная видеокамера способна воспринять эту информацию и преобразовать ее в видимое для человека изображение. Наиболее совершенные образцы инфракрасных видеокамер основаны на использовании силицида платины. Камера на силициде платины во многом похожа на обычную видеокамеру, за исключением того, что она чувствительна к инфракрасному излучению с длинами волн от 1 до 5,7 мкм ($1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$), а не к видимому свету с более короткими длинами волн в диапазоне от 0,4 до 0,7 мкм.

Инфракрасные видеокамеры, очевидно, могут найти применение как приборы ночного видения, разведки, целеуказания и опознавания. Действительно, многие из первоначальных побудительных мотивов для работ над ними возникли в военных исследованиях. Тем не менее вполне вероятно, что инфракрасные видео-

камеры будут применяться и в других областях. Некоторые гражданские применения, несомненно, будут заимствованы у военных, как оборудование для всепогодных полетов и ночной посадки для самолетов гражданской авиации или, например, приборы ночного наблюдения. С помощью инфракрасных видеокамер можно осуществлять контроль лазерной обработки материалов и визуализацию тепловых потоков в жидкостях.

Вероятно, наиболее ценным качеством новых камер является их способность дополнять видимое изображение. Инфракрасная техника используется в электротехнической, строительной и нефтехимической промышленности для обнаружения течей и механических напряжений, борьбы с нефтяными загрязнениями, при тушении пожаров, проведении метеорологических исследований, инфракрасной съемке местности, а также в медицине. И хотя в настоящее время инфракрасная техника предыдущего поколения применяется весьма широко, камеры на силициде платины предлагают более дешевую и качественную альтернативу. Они уже использовались при наблюдении удаленных областей Вселенной, не просматриваемых из-за затемнения межзвездной пылью другими способами.

ИНФРАКРАСНОЕ излучение было открыто в начале XIX в., когда английский астроном Уильям Гершель поднял вопрос о родственности света и тепла. Гершель продемонстрировал существование инфракрасного излучения при помощи разложения призмой солнечного света в спектр. Он обнаружил, что температура термометра повышается при перемещении его от синего конца спектра к красному. Более того, температура продолжала повышаться за границей красного, где не было видимого света. Невидимый свет за

границей красного получил название инфракрасного.

Открытие Гершеля было поставлено на твердый фундамент одним из основоположников квантовой теории немецким физиком Максом Планком. Он предложил теорию, которая описывает электромагнитное излучение, испускаемое идеальными объектами — так называемыми абсолютно черными телами, — и его зависимость от их температуры. (Абсолютно черное тело поглощает все падающее на него излучение.) Теория Планка утверждает, что интенсивность излучения, испускаемого абсолютно черным телом при комнатной температуре, максимальна в



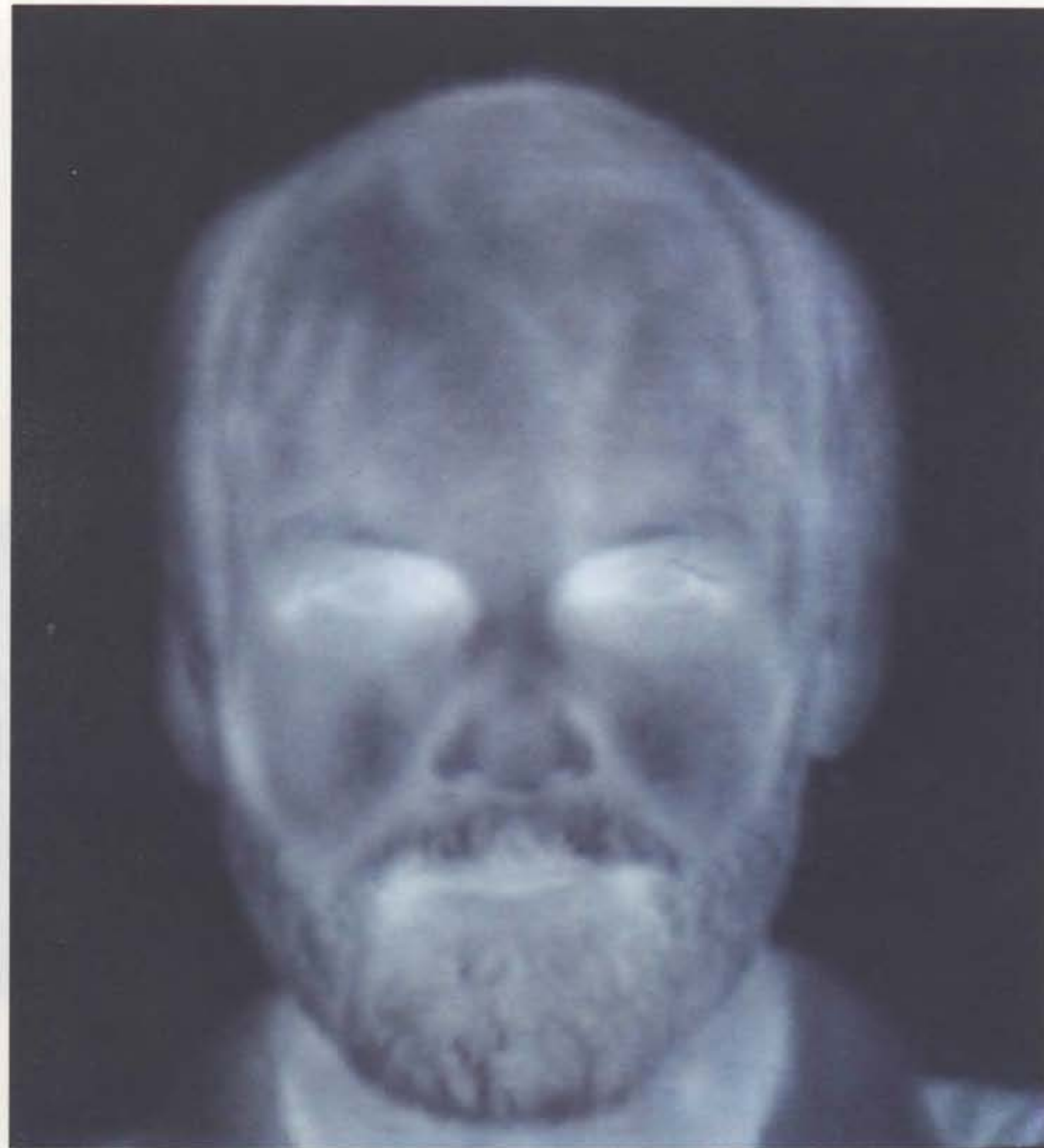
ЛИЦА приобретают жуткое выражение в инфракрасном свете. Один из нас (Мунни) представлен здесь в видимом свете (*вверху*) и инфракрасном (*справа*). Обычные характеристики, такие, как цвет глаз и волос, отсутствуют на инфракрасных изображениях, тогда как температурные детали подчеркнуты. Нос и уши обычно холоднее, чем другие части лица, а глазные впадины теплее. Яркость ноздрей и рта изменяется в зависимости от того, вдыхает человек или выдыхает.

области длин волн около 10 мкм и пренебрежимо мала при длинах волн короче 2 мкм. Для того чтобы соответствовать это с опытом повседневной жизни, мысленно обратимся к электрической плитке. Мы почувствуем излучаемое плиткой тепло до того, как увидим изменение цвета нагревательной спирали. По мере увеличения температуры спираль начинает светиться красным цветом, который соответствует более коротким длинам волн испускаемого излучения. Если попытаться увеличить

нагрев, свечение станет более интенсивным и сдвинется к желтому цвету, а затем к синему, так как преобладающими станут еще более короткие длины волн.

Хотя инфракрасное излучение и видимый свет являются частями электромагнитного спектра, тепловые изображения, построенные инфракрасной камерой, принципиально отличаются от видимых изображений, которые мы наблюдаем в повседневной жизни. В видимом диапазоне объект отражает свет от ис-

точника к приемнику. Видимое изображение может иметь высокий контраст и изменяться от белого к черному. В инфракрасном же диапазоне объект испускает излучение в соответствии со своей температурой (см. «Наука вокруг нас» на с. 84). Тепловое изображение в сущности является отражением температурных особенностей наблюдаемой сцены. Образно говоря, обычная камера строит изображение при помощи «света солнца», а инфракрасная камера — при помощи «света земли».





ИНФРАКРАСНЫЙ ДЕТЕКТОР ИЗ СИЛИЦИДА ПЛАТИНЫ показан на этом рисунке в разрезе. Он представляет собой тонкую пленку силицида платины на кремниевой подложке. Поглощенные инфракрасные фотоны, или кванты излучения, возбуждают в пленке силицида платины носители заряда. Некоторая часть этих носителей переходит в кремний, образуя измеримый ток. Оптимальная толщина пленки силицида платины составляет приблизительно 3 нанометра.

Однако объекты реального мира не являются идеальными черными телами и всегда испускают меньше излучения, чем должны были бы испускать черные тела. Кроме того, они одновременно испускают и отражают излучение, что усложняет связь между яркостью объекта в тепловом изображении и действительной температурой объекта.

Инфракрасные изображения не соответствуют тому, что мы ожидаем увидеть, и резко отличаются от хорошо знакомых нам сцен видимого мира, наблюдаемых ночью или в помещении при отсутствии солнечного света. Лица людей, например, остаются узнаваемыми, но вызывают жуткие воспоминания о шекспировском духе Банко: «Нет мысли проблеска в его сверкающих глазах». Объекты в большинстве инфракрасных сцен имеют приблизительно одинаковую температуру и излучают примерно с одинаковой интенсивностью. В любом тепловом изображении преобладает фоновое излучение, соответствующее средней температуре. Вследствие этого часто бывает трудно различать объекты, так как тепловые изображения, как правило, имеют очень низкий контраст. Пространственная неоднородность характеристик чувствительности детекторов ухудшает качество инфракрасных изображений и оказывается намного более существенной проблемой, чем аналогичная проблема для камер, работающих в видимой части спектра. Стремление уси-

лить контраст, насколько это возможно, является главным направлением совершенствования инфракрасных видеокамер.

ПЕРВЫЕ инфракрасные камеры просто откликались на тепловое излучение. Эвалорограф, изобретен-



ИНФРАКРАСНЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ часовой башни здания бостонской таможни и окружающей территории солнечным днем (слева) и глубокой ночью (справа). Основные источники видимого света, в особенности внутреннее освещение зданий, отсутствуют, что помогает заметить схожесть двух изображений. В отличие от фотографирования в видимом свете ночью и днем величина относительного отверстия и время экспозиции обоих инфракрас-

ный в 1929 г., воспроизводил инфракрасное изображение на покрытой маслом мембране. Масло испарялось со скоростью, которая в каждой точке изображения зависела от количества падающего инфракрасного излучения. Тепловое изображение наблюдалось в виде цветной картины, образующейся вследствие оптической интерференции в масляной пленке, подобно тому, как переливается цветами радуги на поверхности воды тонкая масляная пленка. Позже были созданы другие тепловосensitive камеры с электрическим считыванием информации, но эти устройства не нашли широкого применения, так как были недолговечны и работали слишком медленно.

Высокое быстродействие и эффективность были достигнуты при непосредственном детектировании инфракрасных фотонов, или квантов излучения. Детекторы, основанные на этом принципе, называются квантовыми детекторами в отличие от так называемых тепловых детекторов, таких, как эвалорограф. Во время второй мировой войны немцы использовали квантовые инфракрасные датчики при проведении кораблей через пролив Ла-Манш и переброске танков на восточный фронт. В Германии и Великобритании была начата разработка инфракрасных датчиков для обнаружения бомбар-

дировщиков, но война закончилась до того, как какая-либо из сторон смогла построить приемлемую действующую систему, и Великобритания прекратила свою программу в пользу радаров, которые меньше зависят от метеословий. Первые инфракрасные приборы, изготовленные в США, назывались «Sniperscope» (винтовочный прицел для снайперов) и «Snooperscope»* (тепловизионная система ночного видения). В обоих устройствах были использованы квантовые детекторы — трубки IP25, — созданные в 30-х годах на фирме RCA. Инфракрасное излучение, падающее на катод (отрицательно заряженный электрод), вызывает эмиссию электронов в вакуум. Трубка IP25 не могла принимать фотоны, испускаемые объектами при комнатной температуре, из-за отсутствия у металлического катода чувствительности к фотонам низкой энергии.

В течение двадцати лет после второй мировой войны было предпринято множество попыток использования телевизионной техники в инфракрасном диапазоне. Некоторые успехи были достигнуты в ближней инфракрасной области (от 1 до 3 мкм), но все попытки с длинами волн более 3 мкм потерпели полную

* «Snooper» — человек, сующий нос в свои дела. — Прим. перев.



ИНФРАКРАСНАЯ КАМЕРА НА СИЛИЦИДЕ ПЛАТИНЫ показывает изображение техника, настраивающего аппаратуру. На экране монитора в инфракрасном изображении видно, как женщина прикоснулась рукой к лицу. Позади монитора находится блок электронного управления, использующийся для настройки и фокусировки изображения. Над камерой возвышается посеребренный сосуд Дьюара, предназначенный для охлаждения матрицы из 39 040 детекторов (не видна). Решетка и электронная сеть считывания уместятся на одном кристалле размером с десятицентовую монету.

неудачу из-за низкого контраста инфракрасных сцен. Затем разработчики обратились к так называемым сканирующим системам, в которых инфракрасные изображения создаются небольшим числом детекторов в комбинации с движущимися зеркалами. Сканирующие системы рабо-

тают довольно хорошо, но их сложность, высокая стоимость и строгие эксплуатационные требования ограничивают диапазон их применения.

В 1973 г. Эндрю Янг из Лаборатории военно-воздушных сил и один из нас (Шеперд) предложили инфракрасный датчик, основанный на процессе детектирования, аналогичном использованному в трубке IP25, но с одним кардинальным отличием: освобожденные электроны переходят не в вакуум, а в кремний. Этот процесс называется внутренней фотозмиссией. В основе разработки лежит тот факт, что некоторые металлы, такие, как платина, взаимодействуют с кремнием, образуя силицид, который имеет как спектральную чувствительность, так и объемную однородность, столь необходимые для создания совершенной тепловизионной системы.

Инфракрасные камеры, построенные на основе внутренней фотозмиссии, впервые были продемонстрированы в середине 70-х годов. С тех пор эта техника непрерывно совершенствуется. Сегодняшние устройства имеют разрешение лучше, чем стандартные телевизионные камеры, и могут отражать различие в температуре менее 0,02°C. Камеры на силициде платины продаются как в США, так и в других странах.

Сердцем каждой камеры на силициде платины является матрица детекторов, состоящих из тонкой платиновой пленки, осажженной в ваку-



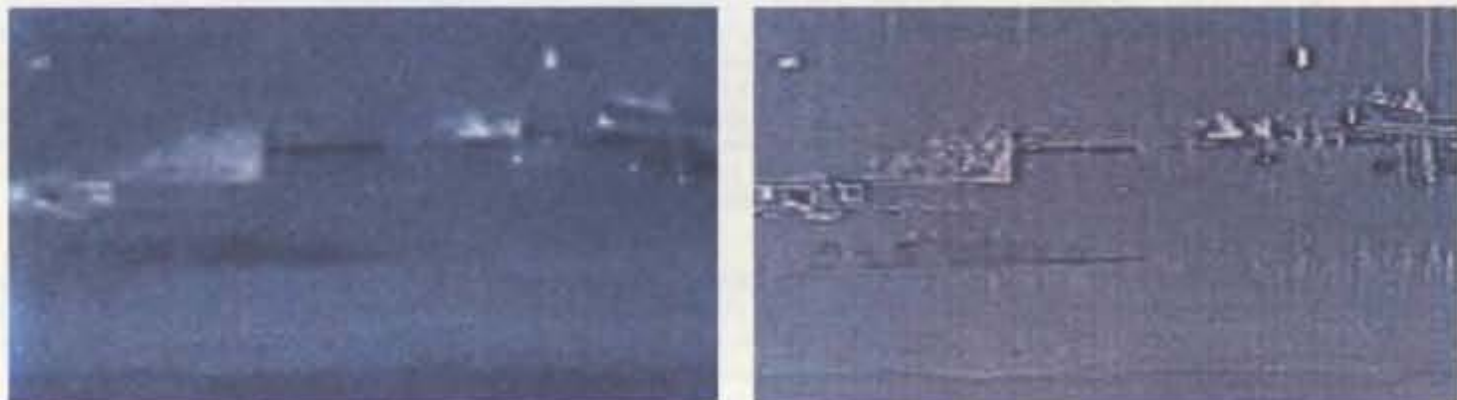
ных изображений одинаковы (f/2,0, 1/30 с). Эти и другие инфракрасные изображения, приведенные в статье (если не указано особо), сделаны Уильямом Юингом инфракрасной камерой, созданной в лаборатории авторов на авиабазе Хэнском. Матрица камеры, состоящая из 160 x 244 детекторов, изготовлена в David Sarnoff Laboratories.

Работая с инфракрасными изображениями

Преобразование сигналов инфракрасных детекторов в изображение на экране может быть выполнено различными путями. Четыре из них использованы для получения изображений самолета, представленных на соседней странице. Первое изображение получено с помощью гистограммной коррекции, которая является лучшим методом выделения деталей. В этом методе размер изображаемого пространства пропорционален числу пикселей (детекторов), имеющих заданный уровень сигнала. Во втором изображении применен метод гистограммной проекции, которая выявляет на фоне малые объекты. Изображаемое пространство зависит только от наличия или отсутствия пикселей с заданным уровнем сигнала. Методы обработки изображения на последних двух снимках подчеркивают отдельные структурные элементы самолета при снижении чувствительности к крупномасштабным деталям и увеличении чувствительности к локальным изменениям. Алгоритм, использовавшийся для третьей картинки, отображает не-

обработанные сигналы циклически. Для обработки последнего изображения применена пространственная низкочастотная фильтрация (крупномасштабных деталей).

На двух фотографиях внизу видны жилые здания на авиабазе Ханском зимней ночью. При экспозиции 1/30 с (слева) преобладает временной шум. Шум возникает в основном вследствие случайности прихода и детектирования тепловых фотонов. Восьмисекундная экспозиция сцены (справа) и обработка методом, использованным для последнего из изображений самолета, снижают влияние временного шума, но обнаруживают влияние остаточного пространственного шума. Пространственный шум возникает из-за неоднородности характеристик чувствительности отдельных детекторов к однородному излучению. Остаточный пространственный шум отражает несовершенную коррекцию, произведенную вычитанием из некорректированного изображения долговременной реакции матрицы детекторов на однородное излучение.



уме на кремниевую подложку. Нагревание подложки с пленкой до высокой температуры превращает платину в силицид платины. Получившаяся поверхность раздела между металлическим, проводящим силицидом платины и полупроводником — кремнием называется диодом (или барьером) Шотки (по имени не-

мецкого физика Вальтера Шотки). «Барьер» — это резкий подъем потенциала на поверхности раздела, который в темноте и при низких температурах позволяет лишь небольшому числу носителей заряда перейти из металла в полупроводник. Инфракрасные фотоны, поглощенные металлом, возбуждают не-

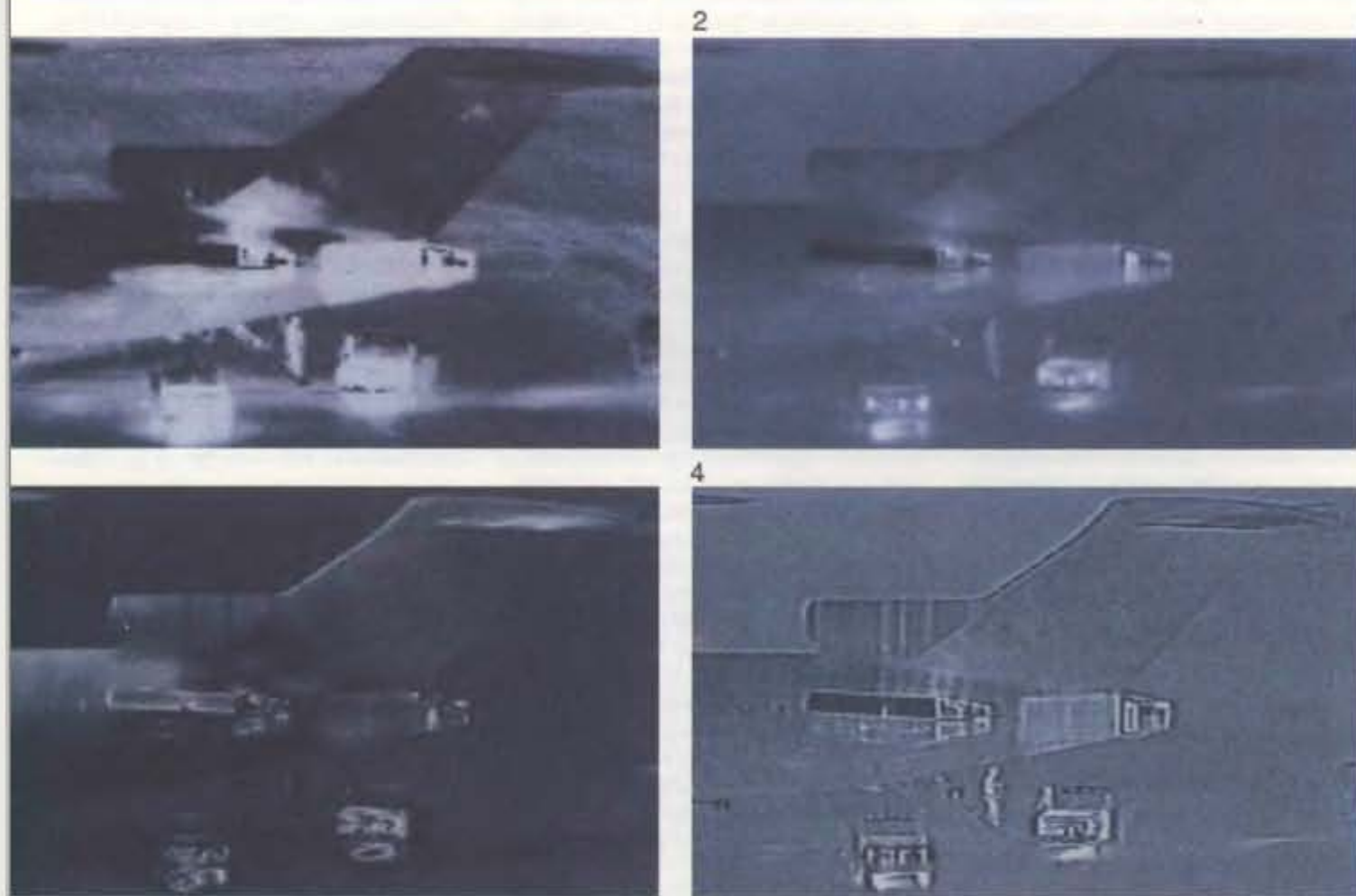
которые носители до энергий, больших высоты барьера. Процесс фотоэмиссии носителей через барьер Шотки аналогичен перебрасыванию мячей через высокую стену. Носители, которым удается преодолеть барьер, образуют поддающийся измерению ток. Интенсивность процесса зависит от многих факторов,



МЕЖЗВЕЗДНАЯ ПЫЛЬ, затеняющая объект NGC 2024 (слева) в области образования звезд, расположенной вблизи пояса Ориона и туманности Конская голова, пропускает инфракрасное излучение, позволяющее получить другое изображение этой области (справа). Это компьютерное изображение получено воспроизведением трех изображений на различных длинах волн (1,2; 1,6 и 2,2 мкм) в условных цветах — голубом, зеленом и крас-



ном. Инфракрасное изображение, любезно предоставленное Яном Гатли, Альбертом Фоулером и Майклом Мерриллом, было получено на 1,3-метровом телескопе в Национальной обсерватории Китт-Пик при использовании матрицы из силицида платины, состоящей из 256 × 256 элементов, которая была изготовлена компанией Hughes Aircraft.



включая толщину и структуру пленки, длину волны излучения и высоту барьера.

В КАМЕРЕ диоды Шотки (каждый размером около 25 мкм) размещены в виде двумерной матрицы на кристалле кремния. Кристалл включает электронную сеть, которая считывает ток каждого диода. Для получения видеоизображения сигнал каждого диода преобразуется в уровень светимости экрана монитора. Диодная матрица и сеть считывания изготавливаются с использованием стандартных методов обработки кремния и представляют собой недорогое высококачественное изделие.

Преимущества силицида платины несколько ограничиваются двумя недостатками. Во-первых, для того, чтобы прибор работал, он должен охлаждаться до температуры жидкого азота (-196°C). Во-вторых, диод преобразует инфракрасное излучение в электрический ток с очень низкой эффективностью — менее 1%. Требование охлаждения до низкой температуры некоторое время казалось серьезной проблемой, однако последние достижения криогенной технологии снизили ее остро-

ту. Низкая эффективность, которая вначале разочаровывала специалистов в применении диодов Шотки в качестве инфракрасных детекторов, частично компенсируется тем фактом, что каждый диод работает в очень маленьком сегменте изображения. Однако использование в матрице тысяч детекторов требует однородности их характеристик чувствительности. Сравняя силицид платины с другими материалами, мы видим обратное соотношение между эффективностью и однородностью. В результате выбор технологии для конкретного применения является предметом длительного обсуждения.

Одним из узловых вопросов в создании инфракрасных видеокамер является преобразование электрических сигналов диодов в уровни освещенности экрана. В видимом диапазоне прямое линейное отображение необработанных сигналов на дисплее обычно дает изображение, которое соответствует ожиданиям зрителя. При воспроизведении инфракрасных изображений возникает несколько проблем. Зритель ожидает увидеть на экране обычное изображение, одно из таких, к которым

он привык в повседневной жизни. Сигнал в видимом изображении от самого темного места к самому яркому может измениться в 1000 раз, тогда как сигнал в типичной инфракрасной сцене меняется не более чем в 2 раза. Низкий контраст инфракрасного изображения усиливает влияние шумов, которое в противном случае было бы незначительным. Существует несколько путей преобразования необработанных сигналов в изображение.

Другой важной проблемой при создании инфракрасных камер является минимизация шумов, или случайных флуктуаций. (Инженеры-электронщики знают, что шум — неизбежное явление в электронных системах.) Шум бывает двух различных видов — временной и пространственной. Временной шум проявляется в изображении в виде зерен «соли и перца». Обычно он возникает из-за случайности прихода и детектирования инфракрасных фотонов. Оказывается, что уровень такого шума возрастает пропорционально квадратному корню времени измерения, тогда как величина сигнала возрастает линейно. Следовательно, при увеличении времени измерения

отношение сигнала к шуму возрастает пропорционально квадратному корню времени измерения, и, таким образом, влияние временного шума снижается.

Но даже при снижении уровня временного шума остается вторая проблема — пространственный шум. Он возникает из-за пространственной неоднородности характеристик чувствительности детекторов к однородному инфракрасному излучению. Пространственный шум, таким образом, представляет собой «отпечаток» индивидуальных особенностей детекторов. Некоторые компьютерные методы обработки позволяют уменьшить этот эффект, но ни один из них не устраняет полностью. В простейшем случае интересующее изображение воспроизводится после вычитания из него изображения, полученного при освещении камеры однородным излучением.

Влияние пространственного шума на характеристики работы инфракрасной камеры аналогично езде на автомобиле в тумане с грязным ветровым стеклом. Неоднородность матрицы соответствует грязи на стекле, мало контрастные инфракрасные изображения соответствуют объек-

там, видимым сквозь туман. Так же как грязное ветровое стекло мешает водителю различать детали объектов сквозь туман, так и неоднородность характеристик детекторов ухудшает работу инфракрасной камеры. Большое преимущество диодных матриц Шотки состоит в том, что свойственная им неоднородность достаточно мала и стабильна, чтобы позволить осуществлять коррекцию в реальном масштабе времени.

Дальнейшая работа над инфракрасными видеокамерами, скорее всего, будет направлена на совершенствование имеющейся на сегодняшний день техники и увеличение чувствительности камер к более длинным волнам. Решение этой задачи зависит от возможности создания высокоэффективной матрицы с высокой однородностью свойств. Характеристики такой матрицы должны определяться не столько качеством изготовления, сколько природой, а именно скоростью случайного прихода инфракрасных фотонов. И хотя такие матрицы сейчас представляются слишком фантастическими, сегодняшние мечты могут завтра превратиться в реальность.

Наука и общество

Чужая родня вкуснее

НЕДАВНО проведенные опыты с животными, проявляющими каннибализм, служат экспериментальным подтверждением одного из следствий дарвиновской теории естественного отбора, известного под названием кин-отбора, под которым имеется в виду отбор, направленный на сохранение признаков, благоприятствующих выживанию близких родичей данной особи. Головастики *Neobatrachus pictus*, питаются как хищники, т. е. цельной животной добычей, развиваются в специализированную форму, для которой характерно поедание особей собственного вида. Однако эти «каннибалы» избегают пожирать своих близких родственников.

Теория кин-отбора была предложена в начале 1960-х годов английским ученым У. Хамилтоном. В основе этой теории лежит то соображение, что естественный отбор способствует сохранению в ряду поколений тех ге-

нов, которые обуславливают более альтруистическое поведение особи по отношению к своим близким родственникам, чем к неродственным животным. Благодаря помощи родственникам данная особь расширяет распространение своих генов в популяции, поскольку ее родственники с большой долей вероятности имеют такие же гены.

Теория Хамилтона, которую он сформулировал математически, является одним из оснований социобиологии. Она стимулировала изучение поведения животных по отношению к своим родственникам, и вскоре обнаружилось, что действительно есть разница во взаимодействии родственных между собой особей и неродственных. Многим животным свойственно, например, предпочтение родственников при выборе, с кем находиться рядом.

Хотя эти наблюдения часто расценивались как доказательство кин-отбора, А. Грейфен из Оксфордского университета — теоретик, известный

своей беспощадностью к небрежным экспериментаторам, — обрушился на авторов этих исследований с резкой критикой, обвиняя их в том, что они не исключили другие возможные объяснения своих наблюдений. Так, недавно Грейфен отмечал, что некоторые факты, в которых видят доказательства кин-отбора, представляют собой не что иное, как проявление склонности животных общаться с особями, запах которых близок к их собственному, а этот феномен мог возникнуть в эволюции по множеству причин. По его мнению, простое предпочтение родственных особей не может быть доказательством существования кин-отбора. А Д. Пфенниг из Корнеллского университета считает, что эксперимент с головастиками-каннибалами противостоит грейфенской критике, и доказывает, что кин-отбор умеряет каннибализм.

Головастики *N. pictus*, которые не кормятся цельной животной добычей, становятся всеядными и не пожирают особей своего вида. Эта всеядная форма, как и многие другие организмы, при общении с себе подобными проявляет предпочтение к родственникам. Хищной же форме, наоборот, свойственно группироваться с неродственными особями. Будучи голодными, хищники плавают, время от времени «щипая» других головастиков. Если такому охотнику попадается неродственная особь, он скорее всего попытается ее съесть, тогда как на родственника нападать не будет.

Пфенниг полагает, что хищная форма распознает родственных особей, пользуясь химическими сигналами. Поскольку по своим предпочтениям эта форма противоположна всеядной, хотя генетически они очень близки, Пфенниг видит в кин-отборе наиболее вероятное объяснение наблюдениям. Тогда почему же каннибализм встречается не так уж часто? Хотя кин-отбор мог бы в ходе эволю-



ции препятствовать развитию форм, поедающих близких родственников, он, наверное, благоприятствовал бы уничтожению слабых неродственных особей, с которыми хищнику легко справиться. По словам Пфеннига, у него есть вполне вероятное объяснение. Изучая личинки тигровой саламандры, он обнаружил, что особи, занимающиеся каннибализмом, чаще умирают от воздействия патогенных бактерий и паразитических червей. Как он предполагает, такие опасности являются достаточной причиной, чтобы эта «дурная привычка» не удержалась.

Тим Бердсли

Объектно-ориентированные базы данных

КОМПЬЮТЕРЫ в настоящее время прочно обосновались внутри самолетов и служат для навигации, управления двигателями и даже для посадки. Удивительно, что инженеры, разрабатывающие математическое обеспечение, все еще упорно бьются над вопросом: как ввести в компьютер копию самолета?

Создание рабочей картинке самолета, включающей миллионы деталей и узлов, а также способа, с помощью которого эти детали взаимодействуют между собой, — задача, чрезвычайно трудновыполнимая на основе существующего программного обеспечения. Частичное решение ее дает метод, известный как объектно-ориентированное программирование. Он позволяет программисту получить непосредственное описание объекта, скажем элэрона, и его поведение в условиях эксплуатации.

Остается только закодировать эти описания в системе управления базой данных, которая позволила бы осуществлять хранение, поиск и использование данных по различным объектам и связанным с ними операциям одновременно несколькими различными пользователями. В настоящее время данные хранятся в файлах (по одному файлу на каждую деталь или узел) или же в системе управления базами данных. Реляционную базу данных, состоящую из элементов таблиц, можно использовать для отслеживания простых взаимосвязей, но ее оказывается недостаточно, когда пользователь пытается связать воедино миллионы подсистем и компонентов, чтобы воссоздать самолет в компьютере. «Как можно описать „Боинг-777“ с помощью серии таблиц?» — спрашивает Стэнли Здоник,

профессор кибернетики Университета Брауна.

Здоник является участником программы, учрежденной Управлением перспективных исследований министерства обороны (DARPA) и имеющей целью решение этой задачи. Проблему предполагается решить, сосредоточив основные усилия по разработке объектно-ориентированных баз данных на дополнении к языку программирования. За последние два года большая часть такого программного обеспечения (продаваемого пятью небольшими компаниями) уже появилась.

Потенциальная ценность этих баз данных как в отношении военных контрактов, так и в отношении командования и управления непосредственно в боевой обстановке побудила DARPA учредить трехлетнюю программу, в рамках которой будут решаться и чисто технические вопросы, и вопросы, связанные со стандартами, отсутствие которых могло бы помешать более широкому применению этой технологии.

Прошлой осенью DARPA начало свою деятельность по этой программе, заключив ряд контрактов на общую сумму 22 млн. долл. с фирмой Texas Instruments, группой университетов и Национальным институтом стандартов и технологий. «DARPA беспокоится, что на разработку и изготовление уходит слишком много времени и денег», — сказал Дейвид Майер, профессор кибернетики из Орегонского института повышения квалификации в области науки и техники, заключивший контракт с DARPA.

С помощью объектно-ориентированных баз данных делается попытка преодолеть ограничения, связанные с существующими методами хранения данных. При использовании реляционной базы данных приходится искать данные по отдельным таблицам для того, чтобы собрать воедино мириады компонентов, из которых состоит самолет, а затем, при записи на диск, вновь разложить на части всю структуру. «Это все равно, что собирать самолет перед каждым взлетом и затем разбирать его, когда он подлетит к воротам ангара», — говорит Томас Этвуд, председатель компании Object Design, разрабатывающей объектно-ориентированные базы данных.

В отличие от прежнего способа объектно-ориентированная база данных будет воспроизводить подсистему самолета как ряд объектов. Например, металлические панели и шарниры подвески элэрона будут непосредственно соединяться с другим объектом — крылом, который в свою

очередь будет связан с самым большим из всех объектов — самолетом.

Такое «сборочное» описание, во многом похожее на схематическое, напоминает метод, по которому конструктор делает чертеж. Объектно-ориентированные базы данных могут, кроме того, вместить больше информации, чем строчки букв и цифр, используемые в обычных программах. Например, они могут включать голосовые сообщения, комментирующие работу инженера.

Конечно, остаются и слабые места. Сложность этих гибридных информационных систем замедляет доступ к данным. Получение ответа даже на простой вопрос может оказаться затруднительным. Для обеспечения быстрого извлечения информации университетские исследователи, заключившие контракты с DARPA, изучают в настоящее время различные варианты решения этой проблемы: от применения индексации до рассечения объектов на составные части, с тем чтобы данные, которые они содержат, могли обрабатываться несколькими компьютерами одновременно. Согласно одной из схем, объекты должны размещаться на диске близко друг к другу в соответствии с их расположением в физическом пространстве. Объект, отображающий элэрон, должен находиться вблизи от объекта-крыла для того, чтобы дисковод мог осуществить доступ к ним в более короткое промежуток времени.

Результаты исследований будут распределяться между фирмами, разрабатывающими базы данных, ориентированных на объект. DARPA считает, что значение этих баз данных очень велико. Поэтому они не должны полностью зависеть от небольших компаний в том, что касается разработки стандартов на технологию, хотя некоторые отрасли промышленности прикладывают усилия, чтобы преуспеть в этом. Гюо Видерхолд, руководитель программы DARPA, утверждает, что ориентирование на объект в конце концов станет основой для создания коллективно используемых баз данных, которые позволят инженерам, работающим на разных фирмах — подрядчиках министерства обороны, иметь доступ к одним и тем же схематическим диаграммам или инструкциям по работе на компьютеризованном металлорежущем оборудовании.

Однако до того, как эти мечты воплотятся в жизнь, такие системы должны «научиться» выдавать простые ответы на простые вопросы.

Гэри Стикс

Котел из Гундеструпа

Загадочная чаша, найденная 100 лет назад в Дании, приписывалась сначала кельтам, потом германцам и фракийцам. Недавний анализ подвергает сомнению эти предположения и основанные на них теории

ТИМОТИ ТЕЙЛОР

28 МАЯ 1891 г. рабочие, добывавшие торф возле деревни Гундеструп в Северной Ютландии, наткнулись на любопытный металлический предмет. Когда был удален покрывающий его слой торфа, то глазам предстала большая серебряная чаша, наполненная пластинами. Эти пластины, частью вогнутые, частью выпуклые, когда-то плотно прилегали друг к другу, покрывая стенки великолепного котла. Пластины были богато орнаментированы сценами войн и жертвоприношений: бородатые боги, борющиеся с дикими зверями, богиня с обнаженной грудью и слонами по обеим сторонам, возвышающаяся над ними фигура с оленьими рогами, держащая в одной руке змею с бараньей головой, а в другой — крученую шейную гривну.

Котел был помещен в Национальный музей в Копенгагене, и датское правительство выплатило нашедшим его рабочим приличное вознаграждение, из-за которого между ними возникла ссора. Но вскоре она померкла в свете разгоревшейся дискуссии между учеными, которая продолжается и по сей день. Где и когда был изготовлен котел, кем и по чьему указу? Как он попал в болото? Что означают эти изображения? Наконец, соответствует ли он нашему представлению о доисторическом обществе?

Я попытаюсь ответить на эти вопросы в ходе последовательного рассмотрения научных толкований находки. В течение вековой полемики, вестущейся вокруг нее, появились новые технические методы анализа и произошли изменения в археологических подходах к воссозданию доисторического периода. Во многих отношениях котел из Гундеструпа явился пробным камнем археологических методов.

Уже удалось вплотную приблизиться к решению многих проблем, связанных с находкой. Относительно датировки изготовления котла существует достаточно широкое согласие: его относят к позднему железно-

му веку: 2 — 1 вв. до н. э.* Исследование, проведенное недавно методом растровой электронной микроскопии Эрлингом Беннером Ларсеном из Института консервации Королевской академии изобразительных искусств в Копенгагене, показало, что котел был изготовлен пятью искусными мастерами серебряных дел. Мой собственный анализ художественных образов показывает, что, хотя котлу и присущи особенности, относимые обычно к кельтскому искусству, и хотя он был найден в той части Европы, которую в те времена населяли германские племена, эти мастера, по всей вероятности, жили во Фракии, на юго-востоке Европы.

Возникают и более сложные вопросы. Анализ котла из Гундеструпа подвергает сомнению сложившееся представление относительно образа жизни в Европе в период железного века; попытки понять находку в ее контек-

сте помогают усовершенствовать теорию, используемые археологами для реконструкции доисторического общества. Этническая принадлежность, род и мифология — все могло быть более сложным, чем предполагалось вначале. Возможно, не существовало четких культурных границ, а религиозные воззрения были более гибкими и многообразными.

ПАЛЕОБОТАНИЧЕСКИЙ анализ котла, выполненный вскоре после его находки, показал, что этот предмет был оставлен на сухой почве. Более влажные условия, возникшие на рубеже новой эры, привели к наращиванию слоя торфа вокруг сосуда и над ним, причем глубина залегания составила примерно 1 м. Таким образом, вовсе не являясь приношением болоту (как это предполагалось многими), чаша, по всей вероятности, была спрятана в густой траве, на некотором удалении от ближайшего поселения. Кто-то явно намеревался вернуться за ней.

Хотя котел не был ассоциирован с более легко датируемыми находками, такими, как фрагменты керамики, на



СЕРЕБРЯНОЕ СОКРОВИЩЕ, обнаруженное в датском болоте, состояло из чаши (справа) и пластин. Пластины были обнаружены в разобранном состоянии (фото слева), что затруднило реконструкцию изобразительного сюжета. Чаша была выкована из единого слитка, что потребовало высокого технического мастерства. Ее ремонт был выполнен гораздо менее искусно: вид сверху показывает, что отверстие в основании было заделано путем припаивания фалара, или серебряной детали украшения конской сбруи.

нем имеются изображения шлемов, шпор и иных предметов, которые вошли в употребление немного ранее 150 г. до н. э. Однако к тому моменту, когда котел был оставлен на земле, он был уже старым, поврежденным и одна из восьми оригинальных внешних пластин отсутствовала. Более того, как показал Ларсен, круглая пластина основания была первоначально частью украшения конской сбруи; позже ее припаяли к дну чаши для заделки дыры. Поэтому, возможно, что сосуд был утерян в 1 в. до н. э., лет через 50—150 после того, как он был изготовлен. В промежутке же его ремонтировали, а также, возможно, разбирали и собирали вновь.

Оригинальная работа выполнена гораздо более искусно, чем ремонт. Чаша, имеющая 70 см в поперечнике, была выкована из одного слитка — сама по себе весьма сложная задача. Пластины изготавливались методом чеканки: сначала формы выбивались на листе при частом нагревании, а затем выпуклые поверхности, поддерживаемые с обратной стороны, украшались с помощью пуансона и других инструментов.

Чтобы определить изготовителей, Ларсен проанализировал следы, оставленные их инструментами. Из

силиконового каучука он изготовил слепки с поверхности котла, покрыл эти слепки золотом, а затем подверг золото анализу в растровом электронном микроскопе. Изображение дало диагностические «почерки» пяти наборов инструментов, которые Ларсен достаточно обоснованно приписал пяти различным мастерам. Анализ Ларсена подтверждается независимым образом и стилистическими интерпретациями.

Указать количество мастеров легче, чем установить, откуда они были. Об их не отличавшемся грамотностью обществе известно лишь из отрывочных упоминаний античных авторов и из сомнительных реконструкций археологов. Я говорю «сомнительных» потому, что такие реконструкции основаны на чрезмерном упрощении культуры — подход, использованный немецким исследователем Густавом Коссинной, изучавшим доисторический период. В двадцатых годах нашего века он определил археологическую культуру как последовательное объединение типов артефактов, найденных исключительно в одном районе.

Коссинна связывал такие построения с «народом», обладающим характерной индивидуальностью, или

Völkgeist. Этот подход отражает точку зрения биологов до Дарвина, которые понимали виды как идеальные типы или существа. И так же как эти биологи располагали виды «в цепь жизни», с человеком наверху, так и Коссинна располагал народы. Северогерманские, или «арийские», народы при этом считались наилучшими — мнение Коссинны и ряда разделявших его взгляды, в особенности нацистов, которые использовали эту идею для оправдания своей завоевательной политики.

Слабость теории Коссинны очевидна. отождествление археологических культур с народами предполагает вероятно полное совпадение антропологических переменных. В реальности же эти переменные редко совпадают достаточно полно. Нация, даже управляемая доминирующей группой, обычно включает в себя несколько религий, языков и физических типов; более того, искусство и технология зачастую пересекают национальные границы. И все же до сих пор существует понятие «чистых народов», хотя и в форме, очищенной от крайних расистских обертон. Многие археологи остаются культурными интегралистами, молчаливо идентифицируя «культуры» и «культурные





В ЕВРАЗИЙСКОЙ РАБОТЕ ПО СЕРЕБРУ просматривается традиция железного века, которая пересекала культурные границы между германскими, кельтскими, фракийскими, скифскими и индийскими племенами. Изображенные

здесь фалары демонстрируют удивительно сходные черты: бодающиеся быки, например, появляются на фаларе из Гундеструпа (верхний ряд, слева) и на другом фаларе (нижний ряд, слева), обнаруженном на о. Сарк.

группы с «племенами» и «народами» соответственно.

ПО МНЕНИЮ многих интеграллистов, котел из Гундеструпа принадлежит кельтской культуре и имеет галльское происхождение. Действительно, его фотографии имеются почти в каждой книге, посвященной кельтам. Однако следует помнить, что слово «кельт» пришло к нам от греческих и римских историков, которые использовали его как общее определение народа, населявшего большую часть Центральной и Западной Европы начиная примерно с 6 в. до н. э. Почти так же первые европейские поселенцы в Америке говорили о «краснокожих индейцах» и только иногда отмечали более определенные формации; античные историки тоже говорили обычно о «кельтах» и лишь иногда — о «племенах».

Самые современные кельтологи являются интегралистами: они обычно представляют кельтов как единый народ древнего мира, отличающийся своим языком, физическим типом, религией и материальной культурой. Эти исследователи рассматривают доспехи и оснащение маленьких фигурок сосуда, таких, как крученые шейные гривны (торквес), сигнальные трубы из рогов животных, гребенча-

тые шлемы и удлиненные щиты с круглыми розетками, как относящиеся к кельтской культуре.

Они «прочитывают» также кельтский пантеон в изображениях на котле, идентифицируя, например, большую фигуру с оленьими рогами как «Рогатого» или бога Цернуносса. Фигура, держащая колесо, гипотетически отождествлялась с кельтским богом колеса Таранисом. В отношении иных фигур мнения расходятся, богатая же иконография сосуда породила настоящий полет фантазии. По предположению некоторых кельтологов, например, загадочные слоны имеют отношение к переходу Ганнибала через Альпы.

Наиболее слабым местом стандартной кельтской аргументации является то, что в Галлии — и в Северной Европе вообще — отсутствуют какие-либо традиции чеканки по листовому серебру. Фердинанд Дрексель из Франкфуртского университета высказал соображения в 1915 г., что котел происходит из Юго-Восточной Европы — ближайшего места, где была развита технология обработки серебра. Эту «технологическую нагрузку» Дрексель использовал в качестве основного аргумента в пользу того, что происхождение котла было фракийским.

Именно аргументация Дрекселя и возбудила во мне интерес к котлу, когда я занимался изучением фракийского искусства (термин, сам по себе интеграллистский, относящийся к культурным «формациям» Юго-Восточной Европы), — область, куда я вступил по совету Джона Александра, моего наставника в Кембриджском университете. Посещая музей Румынии и Болгарии, я встретил Андерса Бергквиста, шведского аспиранта, который также очень интересовался котлом, и мы начали сотрудничать. Основываясь на работе Дрекселя, мы уточняли датировку и расширяли диапазон культурных материалов, с которыми сравнивали котел; при этом нас интересовала не только технология, но и формальные и иконографические признаки. Достоянными внимания среди них оказались изображения обувных ремней на ногах фигуры на котле (см. рисунок на с. 68) и на двух других твердо датированных серебряных изделиях фракийской работы.

Эти аналогии привели нас к выводу, что котел был изготовлен либо в Трансильвании, либо в прилегающем районе в низовьях Дуная. Оба района в позднем железном веке находились в состоянии непрерывного изменения. В исторических источниках говорится о «кельтских» набегах на Юго-

Восточную Европу (как раз перед тем, когда был изготовлен котел), разграблении греческого города Дельфы в 279 г. до н. э. и основании царства Тылис на территории современной Болгарии. Другие источники свидетельствуют о набегах германских военных отрядов в период после изготовления котла. В результате мы пришли к выводу, что Юго-Восточная Европа представляла собой многоэтническое сообщество и что фракийцы, кельты и германцы — все сыграли свою роль в истории исследуемого нами предмета.

Мы предположили, что вторгнувшееся кельтское племя, называемое скордиски, заказало котел фракийским мастерам и что германские грабители затем увезли его с собой. Мы попытались идентифицировать этих грабителей с кимврами — пиратами, о которых античные авторы говорят, что они пришли на юг из района нижней Эльбы, чтобы напасть на скордисков в 118 г. до н. э. После того как 5 лет спустя их разбили римляне, некоторые из кимвров переселились на север и основали Иммерландию (предполагается, что это название этимологически соотносится с «кимврами»), занимающую часть Ютландии, где и был найден котел. Но все же кимвры не попали в нашу схему транспортировки котла. В то время между Черным морем и Балтикой существовали известные по археологическим данным культурные связи, к которым мы и обратились.

Прежде всего Бергквист и я уточнили существующие аргументы, не подвергая сомнению основы общепринятой интеграллистской модели, хотя мы допускали, что в тот период был не один «чистый» народ. Тогда мы еще не дали какого-либо детального объяснения рисунков на котле, не считая принятой идентификации рогатой фигуры с Цернуноссом. Слоны для ученых фракийской школы никогда не представляли проблемы, так как эти животные использовались в те времена в Малой Азии и их изображения появлялись на монетах.

Последующее продвижение вперед началось с неправильного шага. Мы предположили, что анализ изотопов свинца в серебряных пластинах сосуда поможет определить рудник, откуда было добыто сырье. Однако оказалось, что подобная идентификация ничего не даст, так как при изготовлении металлических сосудов часто использовались переплавленные монеты, имеющие происхождение из различных рудников. Но это открывало новое направление анализа: если котел был изготовлен из переплавленных монет, то его вес мог быть кра-

тен стандартному весу монеты.

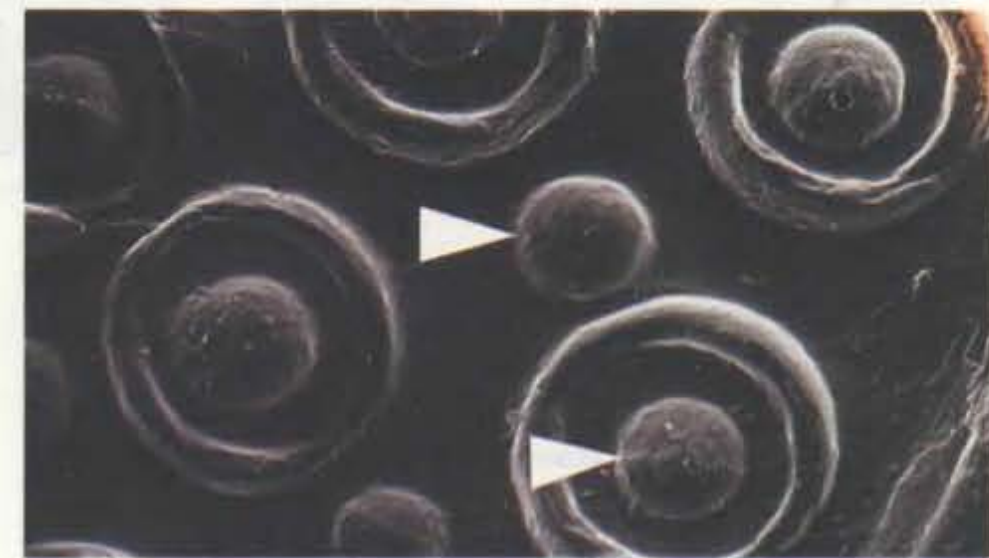
Эту идею я подверг проверке в Копенгагене в мае 1991 г., находясь на конференции, посвященной 100-летию находки котла. Мною было сделано точное измерение веса отдельных деталей, затем я произвел компенсацию веса недостающих деталей и передал результаты подсчета исходного веса Майклу Векерсу, специалисту по метрологии из Эшмоленского музея Оксфордского университета. Общий исходный вес котла составил 9445 г, а вес одной полусферической чаши — 4255 г. Это позволило Векерсу найти точный «делитель» — персидский *сиглос* — монету, максимальный вес которой составлял 5,67 г (умножение этой величины на 1666 и 750 дает соответственно 9445 и 4255).

Эти данные согласуются с фракийским происхождением котла. Персидская обработка драгоценных металлов оказала существенное влияние на развитие златокузнечного дела во Фракии в 5 и 4 вв. до н. э., а персидские единицы веса продолжали использоваться и много позже.

Котел не был единственным сере-

бряным изделием, вывезенным из Фракии. Декоративное украшение сбури, или фалар, которое было использовано для починки котла, является одним из многих, нашедших свой путь на запад. В большинстве случаев эти фалары найдены на путях следования фракийских торговцев, обслуживавших на лошадях римскую армию. Особое значение имеют фалары, найденные на острове Сарк в проливе Ла-Манш в 1718 г., в настоящее время утерянные, но сохранившиеся на подробных рисунках. Фалар «бодающийся бык» (см. рисунок на с. 66) напоминает пластину основания котла из Гундеструпа — так же, как и некоторые фалары из бассейна нижнего Дона, где в то время господствовала группа племен, именуемых сарматами. Фалар «слон и дворец» аналогичен двум фаларам, найденным на стоянке возле Равалпинди, в Северном Пакистане.

Третий фалар из Равалпинди изображает женщину с распущенными волосами и с двумя птицами над плечами. Женщину можно идентифицировать с Харити, покровительницей детей, которая в разных вариантах



СЛЕДЫ ОТ ИНСТРУМЕНТА, использовавшегося при изготовлении котла. (Изображения получены с помощью оптического (вверху) и растрового электронного (внизу) микроскопа.) Следы оставлены одним и тем же инструментом; удары по нему были одинаковой силы и направлены под одним и тем же углом. Анализ таких следов привел Эрлинга Ларсена из Королевской академии изобразительных искусств в Копенгагене к предположению, что котел был изготовлен пятью мастерами серебряных дел.

Передавались ли культурные традиции из Индии в Данию?

Изобразительная и техническая традиции Индии дошли до Фракии, где был изготовлен котел, и затем до Дании. В позах мужчины с рогами на котле (слева внизу) и фигуры с головой быка на оттиске печати из Мохенджо-Даро (справа) прослеживается связь с ритуалами йогов. О фракийском происхождении котла свидетельствуют такие детали, как зигзагообразное переплетение обувных ремней

на ногах фигуры. Три другие связи с Индией видны из гундеструпских фигур, изображенных на соседней странице (слева направо): ритуальное омовение богини со слонами (соответствие индийской богине Лакшми), боги с колесом (соответствие богу Вишну) и богиня с распущенными волосами и парными птицами (ей соответствует индийская Харити).



появляется на сарматских металлических изделиях из бассейна Дона. Этот район также подвергался значительному влиянию северной Индии — связь, отмеченная в 1930-х годах известным русским историком Михаилом Ростовцевым (позднее профессором Принстонского университета).

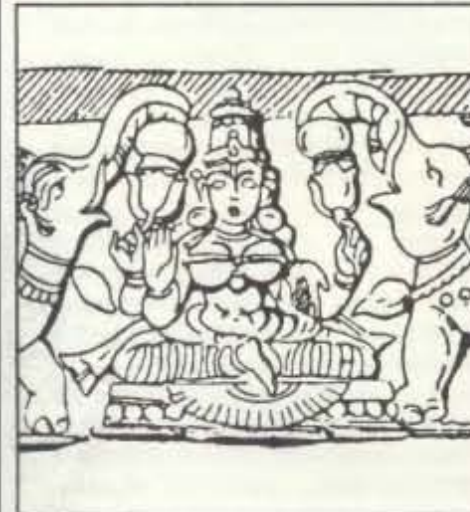
Я уже говорил о фигуре с точно такими же атрибутами — богине с двумя птицами и ребенком на груди — на фаларе из Северо-Восточной Болгарии, а также на котле из Гундеструпа. Увидев связь с Сарматией и в конечном счете с Индией, я был поражен: ведь тем самым открывалась возможность объяснить наличие слонов на одной из пластин котла. И эти явные ассоциации уже целый век «смотрели» всем в лицо с серебряной поверхности, на которой изображены слоны! Следуя идентификации с Харити, я увидел, что гундеструпская сцена, включающая пару слонов, стоящих по бокам центральной женской фигуры, явно изображает ритуальное омовение Шри-Лакшми, богини (в брахмизме и индуизме) счастья и красоты.

Вопрос об Индии как о возможном месте происхождения котла уже обсуждался вскоре после его обнаружения. В 1895 г. Япетус Стинструп из Копенгагенского университета предположил, что котел был изготовлен в средние века в Северной Индии, Тибете или Монголии. Но интуиция Стинструпа оказалась сильнее его способности к анализу: он представил массу нечетких и бессистемных сравнений без какого бы то ни было объяснения. Сейчас же мы можем сказать, что те, кто отбросил его выводы, выплеснул вместе с водой и ребенка.

Как можно объяснить сходство между изображениями, найденными в столь удаленных друг от друга местах, а также обнаруженные в них систематические вариации? Сходство должно было возникнуть благодаря связям между ремесленниками, пересекающим этнические и политические границы. Так, область контактов между мастерами серебряных дел простиралась на расстояние более 6 тыс. км от северной Индии до Балкан. Наличие связей можно предположить благодаря дошедшим до нас находкам, несмотря на их скудность.

Вариации в иконографии отражают неточности, которые накапливались при копировании ремесленником работы мастера или конкурента. И, как при игре в испорченный телефон, сообщение изменялось при каждой очередной передаче. Примером могут служить странно заостренные плечи слонов с гундеструпского сосуда, которые явно скопированы не с самих животных, но с копии, которая в свою очередь также была копией. Дополнительным подтверждением этому является то, что уши слонов из Гундеструпа расположены необычайно высоко, явно в результате многократного копирования декоративных головных уборов, изображенных на индийских моделях. Тем не менее композиция многофигурной сцены осталась неизменной.

Существование изображений, связанных между собой через обширные пространства и длительные временные периоды, не обязательно подразумевает сохранение первоначального смысла. Более ранним воплощением Харити, покровительницы детей, была великанша Харити, поедавшая



детей. Значение фигуры на котле, которую мы идентифицировали как Харити, могло также подвергнуться ряду трансформаций.

Нерис Паттерсон из Института кельтских языков и литературы при Гарвардском университете указала мне на поразительное сходство между Харити и Рианнон — образом мабиногонских преданий, записанных по-валлийски (кельтский язык) в 12 в. н. э. Рианнон также вначале была покровительницей, а затем — покровительницей и также сопровождалась парой птиц. Неясно, возникло ли это сходство в результате случайного стечения обстоятельств, сохранения образа Харити таким, каким он впервые стал известен за тысячу лет до его воплощения на котле в чеканке по серебру, или же в результате более поздней и независимой «передачи».

МОДЕЛЬ культурной передачи через транснациональные связи подразумевает принадлежность ремесленника к странствующей группе — возможно, одной из многих в древнем мире. Мы можем представить некоторые аспекты социальных отно-

шений этих ремесленников с их клиентами на основе рисунков на котле и на других находках. Безбородая фигура со стороны колеса напротив бородавого правителя может, например, принадлежать знатоку ритуалов (см. рисунок на этой странице). Действительно, она может относиться к той же группе, гильдии или касте, что и 5 мастеров серебряных дел, для которых работа по металлу была сама по себе важным ритуальным занятием.

Хорошей аналогией здесь могут служить современные цыгане, которые часто оказывают различные ритуальные услуги в оседлых сообществах, в которых они кочуют. Эти услуги включают исполнение музыки на похоронах, гадание и обработку металлов. Также как цыгане обычно не упоминались в письменных источниках, так и археологически выявленные нами группы могли легко выпасть из поля зрения античных авторов. Даже если мастера, изготовившие котел из Гундеструпа, и жили в Юго-Восточной Европе, они могли не считать себя фракийцами или каким-либо другим народом, известным нам сегодня.

Вместо этого они могли походить

на знареев из Скифии (нынешняя территория Южной России), описанных в 5 в. до н. э. греческими авторами Геродотом и Гиппократом. Биологически мужчины, но одетые как женщины, знареи толковали предсказания и решали споры скифской аристократии. Подобные «специалисты» засвидетельствованы в Евразии — это не шаманы Скифии и не йоги Индии, а предсказатели Фракии, друиды Галлии и, несколькими веками позже, барды Ирландии. В Ирландии бард, восхваляющий в песне короля, будучи биологически мужчиной, описывался как женщина в противоположность мужественным правителям. Этнически и барды, и серебряных дел мастера были изолированы от оседлого населения; их статус был сродни индийской касте.

Самое знаменитое изображение на котле — Цернунос с оленьими рогами — прекрасно вписывается в эту картину. В 1959 г. Хайнс Моде из Университета в Галле отметил поразительное сходство между этой фигурой на сосуде и фигурой на каменной печати из Мохенджо-Даро в долине Инда, датируемой вторым тысячеле-

тием до н. э. Обе фигуры явно сидят в позах йогов, но Моде, рассматривавший котел как исключительно кельтский, доказывал, что позы, соотносимые со столь ранней датой, не могут в действительности иметь отношения к йоге и являются межкультурными.

Томас Макевилли из Университета Райса недавно указал на то, что, хотя фигура из Мохенджо-Даро и имеет мужские гениталии, она одета в женский тип одежды того времени. Он также отмечает, что данная поза похожа на одну из поз йоги, до сих пор практикуемых в сельских районах Индии факирами-йогами низшей касты, которые промышляют на жизнь, торгуя талисманами, делая татуировки, дрессируя змей и творя заклинания. Более того, данная поза предназначена для направления сексуальной энергии. Наблюдения Макевилли проливают совершенно иной свет на сходство между фигурами из Мохенджо-Даро и Гундеструпа.

В изобразительной грамматике котла, на котором мужские фигуры изображены с бородами без грудей, а женские — без бороды и с грудями, пол рогатой фигуры допускает двойное толкование. Одна ее пятка прижата к поверхности — в позе, родственной той, что и в примере Мохенджо-Даро, и, возможно, перенятой с целью того же направления энергии. Фигура частично парит, балансируя на одном носке, и имеет круглую гривну, змею с бараньей головой и рога. Эти особенности обретают смысл с точки зрения распространения власти шамана над тремя сферами: мужской, женской и животной.

Мастера, изготовившие котел из Гундеструпа, были значительно отдалены в пространстве и времени от художников Мохенджо-Даро и работали в иных условиях и в другой технике. Тем не менее они создавали схожие изображения, так как работали в схожих ритуальных рамках. И те и другие составляли касты, которые выходили за пределы оседлых сообществ. И те и другие предоставляли различные ритуальные услуги тем, кто этого требовал. Эти ритуалы явно базировались на магической традиции, обшей для Евразии, которая дожила и до наших дней в тантрической йоге и сибирском шаманстве.

Вот почему появление таких каст сыграло решающую роль в объединении культуры древнего мира. Одно лишь понимание этого может в конечном счете оказаться более важным, чем раскрытие того, о чем повествуют изображения на котле. Сама по себе эта проблема, подобно иным математическим головоломкам, может оказаться более ценной, чем ее решение.

«Гладкие» крылья

ПОТОК воздуха, обтекающий крылья реактивного самолета, может внезапно стать турбулентным, что приведет к снижению скорости движения и к возрастанию потребления топлива. Специалисты по аэродинамике по обеим сторонам Атлантического океана стремятся оснастить крылья и другие поверхности самолета вакуумными элементами сглаживания потока, которые предотвратили бы образование этих вредных турбулентностей.

Выгода для самолетостроительных фирм, планирующих включить в конструкцию так называемые средства управления пограничным слоем с целью ламинаризации обтекания, могла бы быть огромной. Разрабатываемый самолет можно было бы сделать с облегченным корпусом и с меньшими размерами двигателя. Уменьшение количества потребляемого топлива даст громадную денежную экономию и снизит выбросы оксидов азота и других вредных продуктов сгорания.

По оценкам Национального управления по авиации и исследованию космического пространства (НАСА) уменьшение на 1% величины трения о воздух в пересчете на весь парк гражданских самолетов США могло бы дать экономию топлива на сумму 100 млн. долл. Ламинаризация обтекания может обеспечить снижение аэродинамического сопротивления на величину до 20%.

Ни одна из других мер, направленных на модернизацию конструкции самолета, не в состоянии дать сравнимую с этими цифрами экономию. Форма поверхности современного реактивного лайнера оставалась в основном неизменной с 50-х годов благодаря ее аэродинамической эффективности. «Некоторые считают это максимумом того, что можно достичь в аэродинамике в отношении формы корпуса», — заявил Йоахим Шодрух, главный менеджер по научным исследованиям и технологии европейского самолетостроительного консорциума Airbus Industrie. Адельберт Нейгел, менеджер группы, занимающейся гражданскими самолетами на фирме Boeing, добавляет: «Управление пограничным слоем с целью ламинаризации обтекания — это последнее крупное достижение из всех известных в аэродинамике дозвуковых гражданских самолетов».

Задача заключается в том, чтобы сохранить упорядоченную цельность пограничного слоя, этого трехмиллиметрового «пласта» воздушных тече-

ний, движущихся по поверхности самолета с различными скоростями. Достаточно выступающей головки заклепки, скопившейся на поверхности самолета обычной грязи или вибрации от работы двигателя, чтобы этот аккуратный, чутко ведущий себя слой превратился в хаотический поток.

Самолеты меньших размеров лучше сохраняют ламинарный поток благодаря малой длине рулевых поверхностей, а также благодаря форме крыла, в большей степени перпендикулярного фюзеляжу. Придание правильной формы и полирование крыльев и других поверхностей таких самолетов вполне достаточно для сохранения плавных, слоистых ламинарных течений. Для более крупных самолетов (таких, которые вмещают до 100 и более пассажиров) требуются как изменение формы крыльев, так и включение в конструкцию силовых установок для отсоса пограничного слоя, которые затягивают воздух в крылья сквозь миллионы маленьких отверстий, предотвращая тем самым образование турбулентности.

Хотя различные эксперименты по сохранению ламинарного слоя впервые проводились еще во время второй мировой войны, трудности, связанные с изготовлением и обслуживанием ламинаризованного крыла, задержали его окончательную разработку. В ходе последних испытаний эти трудности были отчасти устранены. Первые системы отсоса пограничного слоя для больших авиалайнеров появились в 1990 и 1991 гг. в результате выполнения совместной программы НАСА, фирмы Boeing и ВВС США. С помощью лазеров были просверлены миллионы отверстий диаметром около 0,05 мм в титановой панели, вставленной в верхнюю часть левого крыла «Боинга-757». Внутри крыла была установлена система трубопроводов для этих отверстий, а насос был помещен в пилон gondoly двигателя.

Крыло «Боинга-757» было отполировано и покрашено. Во время взлета и посадки над передней кромкой крыла выдвигался металлический щиток, предназначенный для защиты отверстий от попадания в них насекомых. Хотя панель покрывала только 15% поверхности крыла «Боинга-757», датчики показали, что ламинарный поток сохранялся до 2/3 верхней части крыла. По словам Нейгела, даже 50% означали бы огромный успех.

В ноябре НАСА и фирма Rockwell International сообщили, что они успешно провели испытания подобной системы отсоса на истребителе F-16 на сверхзвуковых скоростях. Эта раз-

Управление пограничным слоем с целью ламинаризации обтекания



работка предназначена для применения на сверхзвуковых гражданских самолетах. «Мы думаем, что эта технология может дать либо все, либо ничего», — сказал Файет Колье-младший, возглавляющий отдел проектирования систем управления пограничным слоем в Научно-исследовательском центре НАСА в Лэнгли.

Руководители консорциума Airbus Industrie признают, что летные испытания, проведенные НАСА, не вызывают никаких сомнений относительно лидерства США в этой области. «Мы отстаем на несколько лет», — подтверждает Шодрух. Однако Airbus пытается конкурировать со своими американскими соперниками, стараясь первым внедрить новую технологию. Со своей стороны НАСА ограничило распространение информации, касающейся программ испытаний. «Мы хотим воспрепятствовать экспорту нашей технологии», — сказал Колье. — Мы пытаемся защитить то, чего мы достигли с помощью денег наших налогоплательщиков».

Пока что испытания систем ламинаризации, проводимые европейскими аэрокосмическими компаниями, ограничивались небольшими самолетами. Airbus планирует поставить систему отсоса на стабилизатор одного из своих самолетов, чтобы определить, насколько трубопроводы и другие узлы затрудняют техобслуживание самолета.

Консорциум, кроме того, намеревается установить систему отсоса на крыло самолета, но так же, как и

НАСА, держит подробности своей программы в секрете. «Эта технология дает преимущество в конкуренции», — сказал Бернард Дзёмба, руководитель технологической группы по аэродинамике в Airbus Industrie. — Я думаю, что именно поэтому обе стороны так конфиденциальны в этом вопросе».

НАСА считает, что исследования продлятся еще около пяти лет, прежде чем эти разработки будут готовы к включению в конструкцию нового самолета. Одним из вопросов, которые предстоит решить в этот период, является проблема засорения отверстий в крыле. Перфорированная поверхность крыла может доставить персоналу авиакомпаний колоссальное количество хлопот, связанных с обеспечением проходимости отверстий и с поддержанием поверхности крыла в чистоте.

Самолетостроительные фирмы изучают помимо этого еще один, менее дорогостоящий и менее эффективный метод снижения аэродинамического сопротивления. Он заключается в покрытии поверхности самолета чем-то наподобие акулий кожи. Вот уже в течение ряда лет самолетостроительные фирмы проводят испытания ленты, изготовленной концерном 3М в Сент-Поле, поверхность которой покрыта микроскопическими гребешками и канавками.

Подобно грубой коже акулы, эти мельчайшие ребрышки уменьшают трение, обусловленное турбулентностью. Однако ребрышки менее эффек-

тивны, чем ламинаризация обтекания: они снижают аэродинамическое сопротивление всего на 2%. При возникновении турбулентности они лишь смягчают ее воздействие и не могут восстановить пограничный слой до состояния ламинарного потока. Техобслуживание такого покрытия также представляет собой значительные трудности. Персоналу авиакомпаний, вероятно, не будет доставлять большого удовольствия необходимость отдиравать ленту и снова тщательно накладывать ее на поверхность самолета при каждой периодической проверке.

Тем не менее пока еще никто не собирается полностью отказываться от этой ленты. Она, очевидно, могла бы применяться для тех участков поверхности самолета, где невозможно обеспечить отсос пограничного слоя, например, на большей части поверхности фюзеляжа. Airbus Industrie, к примеру, уже применил такое покрытие более чем на 70% своих экспериментальных самолетов.

Воздух — не единственная текучая среда, где ребрышки доказали свои ценные качества. Корпус яхты Stars & Stripes в 1987 г., успешно осуществившей свою попытку вновь завоевать Кубок Америки, был покрыт лентой производства фирмы 3М. Снижение сопротивления теперь может стать главным направлением гонки на создание авиалайнера с наилучшими летными качествами.

В ПОИСКАХ ВОЛН

Расселл Рутен

Пространство — это не просто пустота между Землей и звездами, но это и не пустота между электроном и ядром атома. Это сложная среда, более упругая, чем резина, и более прочная, чем сталь.

Примерно 75 лет назад Альберт Эйнштейн понял, что пространство приобретает определенную форму под влиянием находящейся в нем массы. Наше Солнце — слишком слабый объект, чтобы заметно искривить пространство, но вот, например, черная дыра делает это с легкостью. Небольшая черная дыра имеет массу,

равную массе трех Солнц, ограниченную сферой в 10^{12} раз меньшего объема. Случись двум черным дырам столкнуться, они искривят, скрутят и завяжут пространство в узлы столь сложным образом, что представлять эту картину теоретики начали лишь совсем недавно. Такие катастрофические столкновения могут послужить основой для окончательной проверки наиболее изощренных построений Эйнштейна — его общей теории относительности.

После многих лет целенаправленных исследований и ряда отдельных попыток

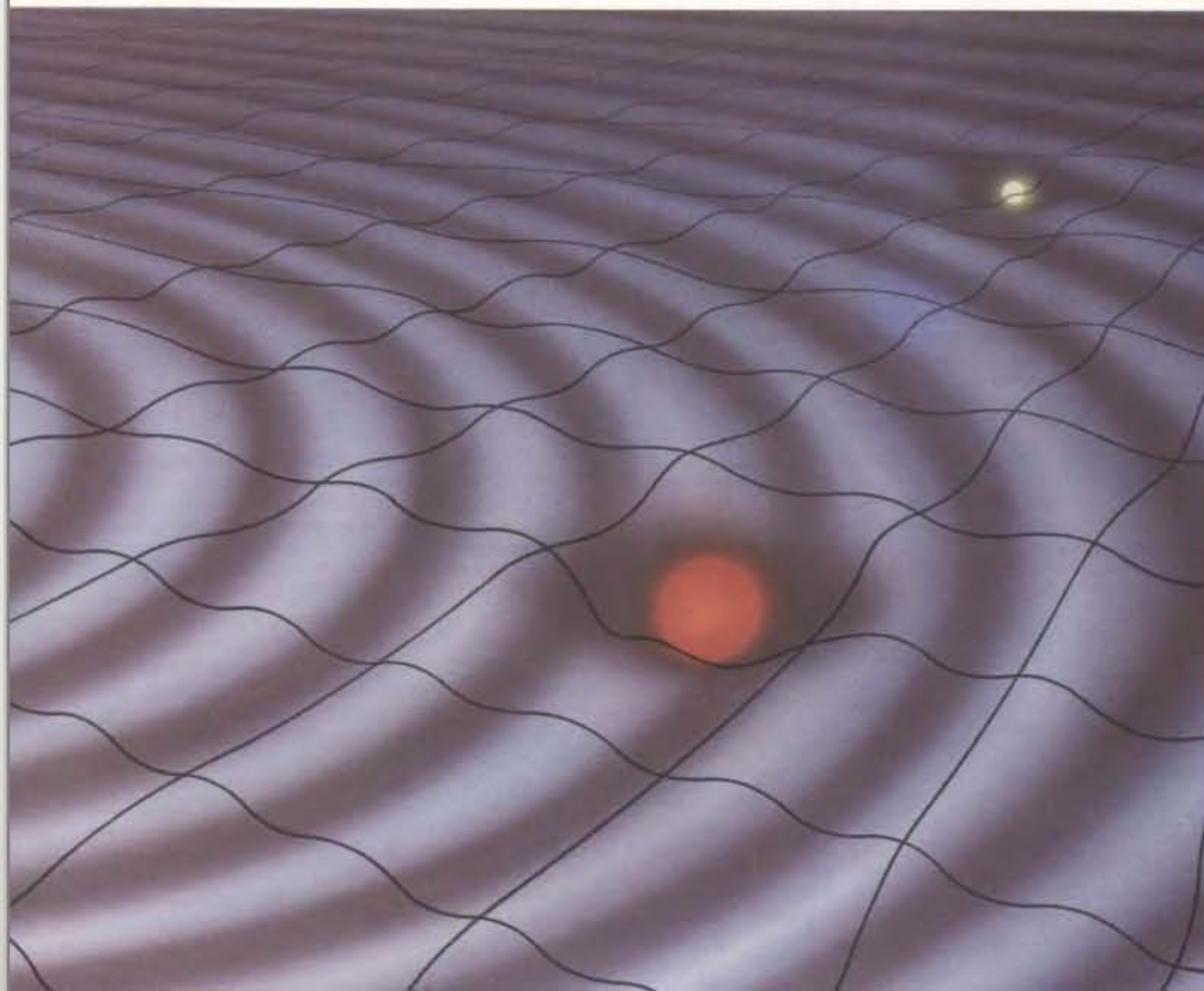
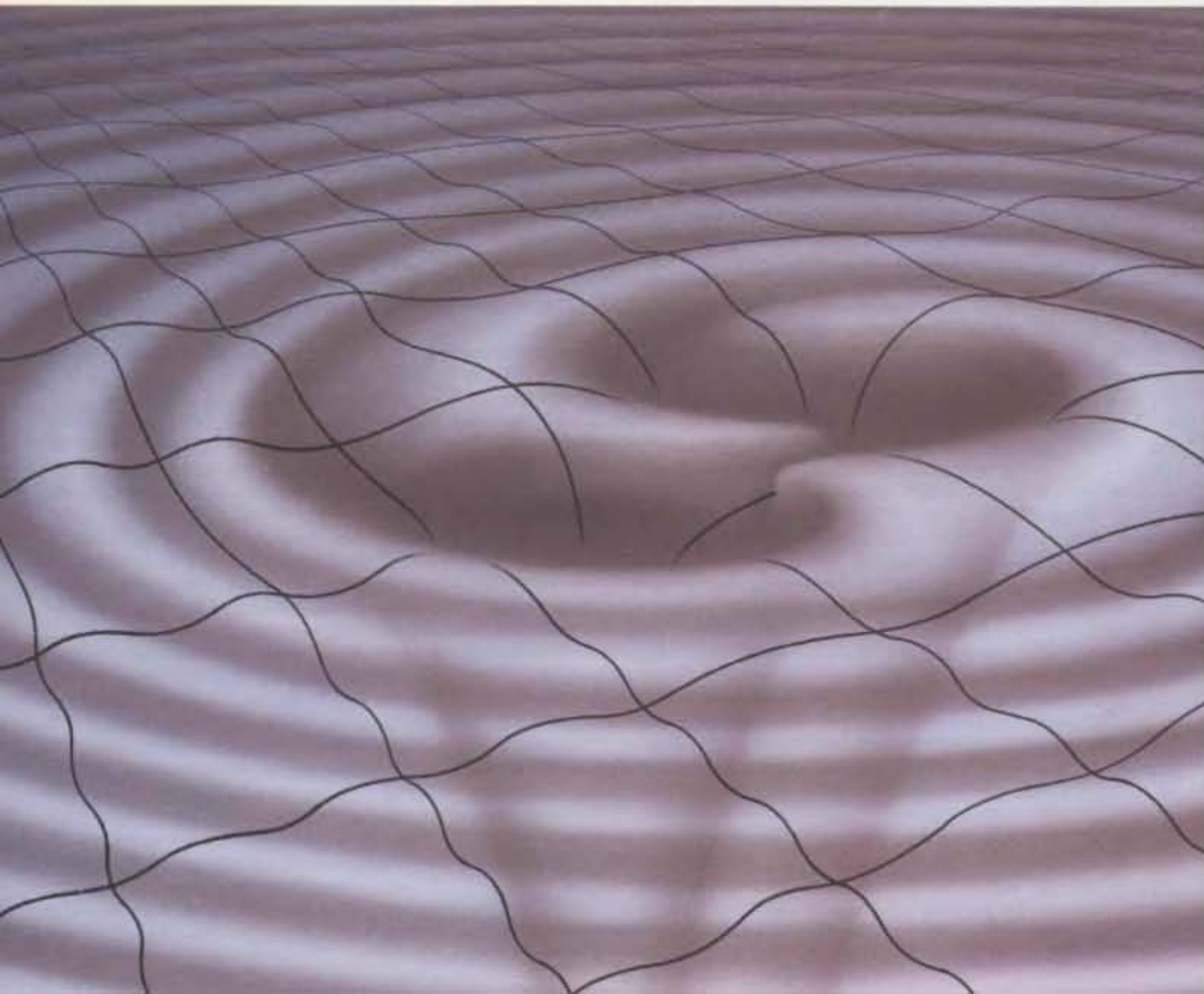
Ученые надеются исследовать природу тяготения и дальние рубежи Вселенной, регистрируя гравитационные волны. Правительство США обещало им выделить 211 млн. долл. на создание двух детекторов километровых масштабов. Ждет ли их успех?

физики, наконец, готовы к постройке необычного телескопа, который, возможно, позволит им начать наблюдения за явлениями, деформирующими пространство. Однако в отличие от любого другого телескопа этот прибор будет регистрировать не электромагнитную радиацию, т. е. свет, радиоволны, гамма-лучи и другое излучение электромагнитного спектра, а гравитационные волны — незначительные изменения формы пространства.

Астрономы уже наблюдают эффекты влияния гравитационных волн, но ни один из построенных до сих пор инстру-

ментов не был достаточно чувствительным, чтобы зарегистрировать волны непосредственно. Согласно теории Эйнштейна, гравитационные волны распрост-

ДВЕ ЧЕРНЫЕ ДЫРЫ, излучая гравитационные волны, движутся по спирали относительно друг друга. На рисунке пространство представлено неким упругим листом, подобным сетке для батута. Всякий объект, обладающий массой, как, скажем, изображенные здесь звезды, деформирует пространство, т. е. искривляет сетку. Каждая черная дыра растягивает сетку до бесконечности. Когда черные дыры движутся вокруг друг друга, часть искривлений распространяется от них в виде гравитационных волн.



раняются от породившего их источника подобно ряби на поверхности воды. По мере того как волны уходят все дальше в пространство, они ослабевают. Но в отличие от электромагнитных гравитационные волны не задерживаются звездами или космическим «мусором». Не задерживаются они и Землей, когда прибывают к нашей планете.

Таким образом, с помощью чувствительного детектора, вообще говоря, можно наблюдать гравитационные волны, очень слабо сжимающие и расширяющие пространство и материю. Например, если бы гравитационные волны от двух сталкивающихся черных дыр в удаленной галактике прошли через детектор длиной в километр, находящийся на Земле, длина детектора изменилась бы менее чем на одну миллиардную метра. Это примерно в 1000 раз меньше диаметра атомного ядра.

Сейчас группа физиков из Калифорнийского технологического института (КТИ) и Массачусетского технологического института (МТИ), возглавляемая Рохусом Вогтом, на-

деется «поймать» первую волну, а за ней и другие. В течение ближайших пяти лет эта группа планирует построить две установки в разных концах США, содержащие самые большие в мире интерферометры. Каждое устройство будет генерировать интенсивные лазерные пучки, которые должны распространяться вперед-назад вдоль двух путей длиной 4 км и интерферировать друг с другом в некоторой точке. Если гравитационная волна достаточной амплитуды проходит через такое устройство, расстояние, которое приходится преодолевать пучкам света, несколько изменяется, в результате чего меняется интерференционная картина.

Распоряжение, по которому на строительство установок должны быть выделены первые средства, подписано президентом Джорджем Бушем в октябре 1991 г. Полная стоимость проекта, известного как Гравитационно-волновая обсерватория с лазерным интерферометром (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory, LIGO), оценивает-

ся в 211 млн. долл. Если группа LIGO достигнет своей цели и если современные расчеты окажутся верными, интерферометры будут достаточно чувствительными, чтобы регистрировать гравитационные волны, излучаемые парой сталкивающихся нейтронных звезд. В этом случае к концу текущего десятилетия могут быть получены первые прямые подтверждения существования гравитационных волн. Но что еще более важно, благодаря этому проекту исследователи получают возможность взглянуть на Вселенную под новым «углом зрения».

Регистрируя гравитационные волны вместо электромагнитного излучения, ученые смогут следить как за яркими объектами, такими, как взорвавшиеся звезды, так и за темными, к которым относятся черные дыры. Если ученым будет сопутствовать удача, они смогут открыть неизвестные небесные тела или даже гравитационные волны, излученные в «момент творения». «Я глубоко верю, — восклицает Вогт, — что LIGO войдет в историю не благода-

ря двойным нейтронным звездам, черным дырам или чему-нибудь подобному, а благодаря таким вещам, о которых мы сейчас даже не подозреваем».

Многие ученые не разделяют оптимизма группы LIGO, и вокруг вопроса о целесообразности проекта ведутся жаркие дебаты. Хотя теоретики могут рассчитать амплитуду гравитационных волн, которые должны идти от двух черных дыр, они не знают, сколько таких систем существует. Единственным источником гравитационных волн, для которых можно надежно рассчитать оба параметра — число источников и интенсивность волн, являются нейтронные звезды в двойных системах. Однако никто не может быть уверен, что установка LIGO окажется достаточно чувствительной для того, чтобы их обнаружить.

Дефект теории Эйнштейна?

До недавнего времени не было уверенности в существовании гравитационных волн. Сомневался и сам Эйнштейн. В 1916 г. в рамках общей теории относительности он предположил, что гравитационные волны и силы гравитации суть проявление искривления пространства. На протяжении десятилетий теоретики яростно спорили о том, реальны ли гравитационные волны или это своего рода дефект теории Эйнштейна. Эти дебаты заставили Артура Эддингтона, чьи наблюдения подтвердили общую теорию относительности, заметить, что гравитационные волны «распространяются ... со скоростью мысли!»

В 50-х годах теоретики наконец сошлись во мнениях, что гравитационные волны действительно существуют. В 1957 г. Джозеф Вебер, физик из Мэрилендского университета, приступил к созданию детектора гравитационных волн. Его основным компонентом был сплошной цилиндр весом несколько тонн, подвешенный в вакуумной камере и в максимальной степени изолированный от внешних вибраций. Рассмотрев все возможные источники гравитационного излучения, известные к тому времени, Вебер нашел, что большинство из них должно излучать гравитационные волны с частотой около 1000 циклов в секунду. Исходя из этого, он выбрал размеры, форму и состав цилиндра такими, чтобы последний резонировал (подобно камертону) с волнами указанной частоты.

Если проходящая волна вызовет расширение цилиндра, а затем его



ЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ ДЕТЕКТОР был построен специально для регистрации гравитационных волн. Гравитационная волна, проходящая через детектор, должна создавать деформации алюминиевого цилиндра, подвешенного в вакуумной камере. Деформации и вибрации можно зарегистрировать. Специальное оборудование в лаборатории Станфордского университета охлаждает цилиндр до температуры 4К, позволяя свести к минимуму вредные вибрации, вызываемые теплом.

сжатие, специальное устройство преобразует эти еле заметные смещения в электрические сигналы, которые могут быть измерены. Амплитуда волны должна быть связана с деформацией цилиндра (изменением длины, деленным на длину цилиндра). Сделав несколько модельных образцов, Вебер остановился на двухметровом детекторе, который был способен измерять деформации величиной 10^{-16} , что составляло 0,0000000000000002 м.

За прошедшие 35 лет Вебер несколько раз сообщал о регистрации событий, которые, по его мнению, обусловлены гравитационными волнами. Его наиболее известные результаты, полученные в 1969 г., как будто показывали, что гравитационные волны излучаются из центра нашей Галактики. После сообщения Вебера во многих лабораториях мира были построены сложные цилиндрические детекторы, но ни в одной из них не было получено статистически значимых свидетельств существования гравитационных волн.

Тем не менее пионерные работы Вебера вдохновили других исследователей. Вскоре после того, как Вебер начал публиковать сообщения о полученных им результатах, Райнер

Вейсс, который в настоящее время является одним из ведущих исследователей по проекту LIGO, приступил к чтению курса теории относительности в МТИ. Его студенты находились под большим впечатлением от работ Вебера, поэтому Вейсс попытался найти простой способ, чтобы объяснить эти результаты. Именно тогда он и пришел к мысли использовать для регистрации гравитационных волн световые пучки. (В то время Вейсс не знал, что Вебер и некоторые другие исследователи также размышляли об использовании света для обнаружения гравитационных волн.)

Первый детектор гравитационных волн, в котором использовались световые пучки, был построен в 1971 г. Робертом Форвардом и его коллегами из Исследовательской лаборатории Хьюдеса. В его основу была положена конструкция интерферометра, который американский физик Альберт Майкельсон изобрел 90 годами ранее, чтобы доказать существование космического «эфира».

В современном виде интерферометр Майкельсона состоит из лазера, делителя пучка, двух зеркал и фотодетектора, образующих фигуру в форме креста. Если лазер располо-

Регистрация гравитационных волн

Возможность наблюдения гравитационных волн основана на том обстоятельстве, что они сжимают и растягивают пространство и вещество. Представим, к примеру, гравитационную волну, которая проходит через длинный цилиндр (см. схему справа). Когда волна распространяется от одного конца цилиндра до другого, она искривляет цилиндр неодинаково в разных направлениях. Волна может сжимать вещество в одном направлении, расширяя его в перпендикулярном.

Группа LIGO надеется обнаружить гравитационные волны, используя сложный интерферометр, подобный изображенному ниже. Лазерный свет проходит через зеркало многократного отражения и падает на делитель пучка. Затем свет входит в один из резонаторов Фабри—Перо, каждый из которых состоит из частично пропускающего и полностью отражающего зеркала. Свет отражается много раз в резонаторах и затем проникает наружу через частично пропускающие зеркала. Резонаторы и зеркало многократного отражения включены в схему для того, чтобы накапливать свет, повышать мощность и увеличивать чувствительность устройства.

Пучки, вышедшие из каждого резонатора, падают на делитель пучка, где складываются. Большая часть этого света направляется обратно к лазеру и с помощью зеркала многократного отражения посылается снова в интерферометр, где про-



цесс повторяется. Остальная часть суммарного света достигает детектора, который измеряет его интенсивность. Когда сильная гравитационная волна будет проходить через детектор, сжатия и растяжения прибора станут влиять на «сложение» вышедшего наружу света на делителе. В результате детектор зарегистрирует прохождение гравитационной волны как изменение интенсивности света.



Угловая станция вмещает лазеры, делители пучков и часть зеркал всех шести интерферометров.

Вакуумные системы протягиваются на четыре километра в двух направлениях

«Камеры грузов-датчиков» содержат частично пропускающие зеркала

Лазеры «Модули горизонтального доступа» содержат различные оптические компоненты.

«Диагональные камеры» содержат делители пучков.

Вакуумная труба «пропускает» лазерные пучки всех шести интерферометров.

Подъемный механизм позволяет извлечь из вакуумной системы изолирующую укладку и оптические компоненты.

Изолирующая укладка не дает низкочастотным вибрациям дойти до оптических компонентов.

Крышку «воздушного замка» можно сдвигать с целью отсечь вакуумную систему, когда оптические компоненты поднимают выше трубы.

Частично пропускающее зеркало привешено к изолирующей укладке.

Промежуточная станция содержит полностью отражающие зеркала двух двухкилометровых интерферометров

Конечная станция содержит полностью отражающие зеркала для трех четырехкилометровых интерферометров.

жен, скажем, на западном конце креста, то детектор находится на южном конце, зеркала размещены на восточном и северном концах, а делитель пучка располагается в середине. Пучок лазерного света проходит сначала через делитель, который направляет половину света к северному зеркалу, а половину к восточному. Оба зеркала отражают свет, посылая его вдоль тех же путей к делителю. Здесь пучки складываются и направляются в детектор.

Что измерит детектор, зависит от расстояний между делителем пучка и зеркалами. При определенных расстояниях между компонентами системы гребни световых волн, идущих с «севера», поступают на делитель синхронно с гребнями волн, идущими с «востока». Гребни как бы усиливают друг друга, в результате чего увеличивается интенсивность совокупного пучка, который падает на детектор. Если же расстояния между делителем и каждым зеркалом изменить на половину длины световой волны, то гребни волн от одного зеркала придут на делитель одновременно с впадинами волн от другого зеркала. В этом случае две волны гасят друг друга и свет на детектор не попадает.

При детектировании гравитационных волн зеркала устанавливаются таким образом, чтобы световые волны гасили друг друга. Однако гравитационная волна, проходящая через интерферометр, должна несколько изменить расстояние между компонентами системы. В результате какое-то количество света попадет на детектор, который регистрирует определенное изменение интенсивности света, пропорциональное амплитуде гравитационной волны (см. вставку на с. 74).

Большинство экспериментаторов полагали, что интерферометры окажутся более чувствительными к гравитационным волнам, чем цилиндрические детекторы. Реакция интерферометра определяется скоростью света, тогда как реакция компонентов цилиндрического детектора определяется скоростью звука.

Астрономический детектор

Хотя первые детекторы-интерферометры были примерно в 100 раз более чувствительны, чем цилиндры

Вебера, ни один из них не обнаружил гравитационных волн. По иронии судьбы единственное убедительное подтверждение существования гравитационных волн поступило не от детекторов гравитационных волн, а от радиотелескопов. В 1974 г. астрономы Джозеф Тэйлор-мл. и Расселл Халс, работавшие тогда в Массачусетском университете в Амхерсте, обнаружили «нейтронную» звезду, известную как PSR 1913+16, наблюдения которой с тех пор дали серьезные количественные данные, свидетельствующие в пользу существования гравитационных волн. Подобно другим нейтронным звездам, PSR 1913+16 имеет массу, несколько превышающую массу Солнца, сжатую в сферу диаметром менее 10 км. При такой плотности веществу «удобно» существовать в виде нейтронов, отсюда и название звезды.

Объект PSR 1913+16 представляет собой тип нейтронной звезды, называемой пульсаром. Он обладает очень сильным магнитным полем, которое вращается вместе со звездой. Это поле ускоряет заряженные частицы вблизи звезды, генерируя пучки излучения, которые исходят из магнитных полюсов. Пучки поворачиваются вместе со звездой, «освещая» космос подобно лучу прожектора. Наблюдая эти пучки, Тэйлор и Халс обнаружили, что PSR 1913+16 вращается со скоростью около 16,9 об/с с постоянством, которому могут позавидовать атомные часы.

Другое, еще более необычное свойство пульсара PSR 1913+16 состоит в том, что он обращается с периодом около 8 ч вокруг звезды-компаньона. При этом его скорость достигает 400 000 м/с, что лишь в 750 раз меньше скорости света. В дополнение к этому расстояние между пульсаром и его компаньоном в 100 раз меньше, чем между Землей и Солнцем.

По существу, пульсар представляет собой точнейшие часы, быстродвигающиеся по орбите в очень сильно искривленной области пространства (искривление создается большой массой звезды-компаньона). Такие условия являются идеальными для наблюдения за релятивистскими эффектами. Тэйлор поясняет, что в соответствии с теорией

относительности Эйнштейна орбитальный период должен «постепенно уменьшаться по мере того, как система теряет энергию в виде гравитационных волн».

Начиная с 1974 г. Тэйлор с коллегами наблюдает за уменьшением орбитального периода. Результаты измерений согласуются с предсказаниями в пределах погрешности менее 0,5%. «Замечательно, что теперь мы имеем данные, подтверждающие существование этого тонкого эффекта, который, как считал Эйнштейн, никогда не удастся обнаружить», — отмечает Тэйлор.

К сожалению, гравитационные волны, излучаемые объектом PSR 1913+16, слишком слабы, чтобы их можно было зарегистрировать с помощью цилиндра Вебера, существующих интерферометров и даже детектора LIGO. Тем не менее открытие PSR 1913+16 побудило физиков продолжить размышлять о том, какие объекты во Вселенной способны испускать достаточно сильное гравитационное излучение, которое можно было бы зарегистрировать наземными инструментами.

Одним из ведущих теоретиков этой группы исследователей (а также главным советником проекта LIGO) является Кип Торн. В 70-х и 80-х годах он и некоторые другие теоретики из разных стран показали, что Вселенная должна содержать много различных типов источников гравитационных волн. Но им никак не удавалось сделать количественные предсказания. Во всех случаях не хватало по крайней мере одного важного «кирпичика» информации, отсутствие которого делало невозможным предсказание и мощности источников, и их числа.

Десять лет назад, например, теоретики полагали, что наиболее вероятным источником гравитационных волн, которые можно зарегистрировать на Земле, должна быть сверхновая — взорвавшаяся массивная звезда. По их оценкам, каждый год во Вселенной появляются миллионы сверхновых. Эта простая оценка убеждала, что многие звезды должны взрываться в относительно близких к нам галактиках.

Однако это еще не гарантирует возможности их обнаружения. Критики отмечали, что астрофизики просто не знают в деталях динамику



Вверху: Группа КТИ, включая директора LIGO Рохуса Вогта (в центре) и физика Рональда Дриввера (справа от Вогта). Внизу слева: Группа МТИ, включая физика Райнера Вейсса (сидит справа). Внизу справа: Кип Торн, теоретик из КТИ.

сверхновых и что интенсивность гравитационных волн, испускаемых сверхновой, должна зависеть от того, происходит коллапс звезды асимметричным образом или нет. Согласно теории, мощный источник гравитационных волн должен быть массивным компактным объектом несферической формы, подобным, например, мячу для регби, цилиндру или гантеле. Важнее всего то, что он должен быстро двигаться таким образом, чтобы несферическая компонента «выделялась». Например, звезда в форме мяча для регби, вращающаяся вокруг своей продольной оси, не испускает гравитационных волн. Однако, если та же звезда вращается, как бы перекачиваясь с одного конца на другой, она будет их мощным источником.

Пойманный в волне

В настоящее время Торн, Бернард Шоу из Кардиффского университета и их коллеги выделяют двойные нейтронные звезды в качестве одного типа возможных источников гравитационных волн, мощность которых можно достаточно точно предсказать на основе фундаментальных физических принципов, а их число оценить по данным астрономических наблюдений. Система из двух нейтронных звезд подобна гантеле, вращающейся перпендикулярно ручке. На протяжении сотен миллионов лет две звезды приближаются друг к другу по спирали, пока не столкнутся и не сольются. В последние моменты перед слиянием звезды будут находиться на расстоянии около 20 км друг от друга, двигаясь со ско-

ростью, сравнимой со скоростью света.

Гравитационные волны от двойной нейтронной системы, находящейся в галактике на расстоянии 650 млн. св. лет от Земли, создадут на Земле деформации порядка $4 \cdot 10^{-22}$. Частота гравитационных волн должна быть равна половине частоты обращения звезд по спирали вокруг друг друга. За несколько минут до того, как нейтронные звезды сольются, они должны вращаться с частотой примерно пять раз за секунду. Затем в последние мгновения частота должна возрасти до 500 об/с. Таким образом, частота гравитационных волн возрастает с 10 до 1000 цикл/с.

Двойные нейтронные системы редки во Вселенной, и обнаружить их по электромагнитному излучению трудно. Астрономы занесли в каталог более 400 нейтронных звезд, но для нашей Галактики подтверждено существование лишь четырех пар, вращающихся вокруг друг друга. Имея в виду эти четыре пары, астрофизики рассчитали, сколько нейтронных звезд должно сталкиваться во Вселенной каждый год. Рамеш Нарайан и его коллеги из Гарвард-Смитсоновского астрофизического центра и Стерл Финней из КТИ независимо друг от друга получили следующую оценку: в пределах 650 млн. св. лет от Земли ежегодно сливается несколько пар нейтронных звезд.

В таком случае по теории, если установка LIGO сможет измерять деформации порядка $4 \cdot 10^{-22}$ на протяжении года, ученые будут иметь хорошие шансы зарегистрировать гравитационные волны от нескольких двойных нейтронных звезд. На практике необходимо построить по крайней мере два детектора в двух разнесенных на большое расстояние точках, чтобы различить локальные возмущения от гравитационных волн. А для определения положения источника на небе придется построить еще и третий детектор.

Если группа LIGO поймает в свои сети всплеск гравитационных волн, идущих от двойной нейтронной звезды, Торн выиграет пари, которое он заключил в 1981 г. с Иеремией Острайкером из Принстонского университета. Ставкой является ящик «хорошего красного вина». Торн поставил на то, что гравитационные волны будут обнаружены к 2000 г. Его знаменитый коллега согласен с тем, что гравитационные волны существуют, но, по его мнению, Торн переоценивает мощность

их астрономических источников. С момента заключения пари Острайкер не изменил своего мнения. Надеется ли Торн выиграть пари? «Я думаю, эта игра на равных», — признает он.

Действительно, с тех пор как Торн начал состязаться с группой Вейсса из МТИ, стремясь первым зарегистрировать гравитационные волны с помощью интерферометра, проект LIGO развивается рывками. В 1979 г., год спустя после того, как Тэйлор и Халс представили первые надежные свидетельства в пользу существования гравитационных волн, Торн убедил руководство физического факультета КТИ заняться проблемой их обнаружения. Возглавить работу физики из КТИ пригласили Рональда Дриввера, работавшего с цилиндрами Вебера и интерферометрами в Университете Глазго.

В ответ на энтузиазм ученых из КТИ заняться обнаружением гравитационных волн с помощью интерферометров Национальный научный фонд (ННФ) приступил к финансированию проекта. Поддержка в этой области была оказана и КТИ, и МТИ на уровне около 1 млн. долл. в год. Дриввер и Вейсс начали соревноваться в том, кто построит бо-

лее чувствительный и хитроумный интерферометр.

Чувствительность приборов можно улучшить путем повышения мощности лазеров и увеличения расстояния между зеркалами и делителем пучка. Однако на чувствительность могут влиять несколько источников «шумов», связанных с небольшими изменениями частоты лазерного излучения или небольшими вибрациями, приводящими к смещению зеркал и других оптических компонентов. Увеличение мощности лазера и длины пучка может ослабить влияние одних источников шума, но усилить влияние других.

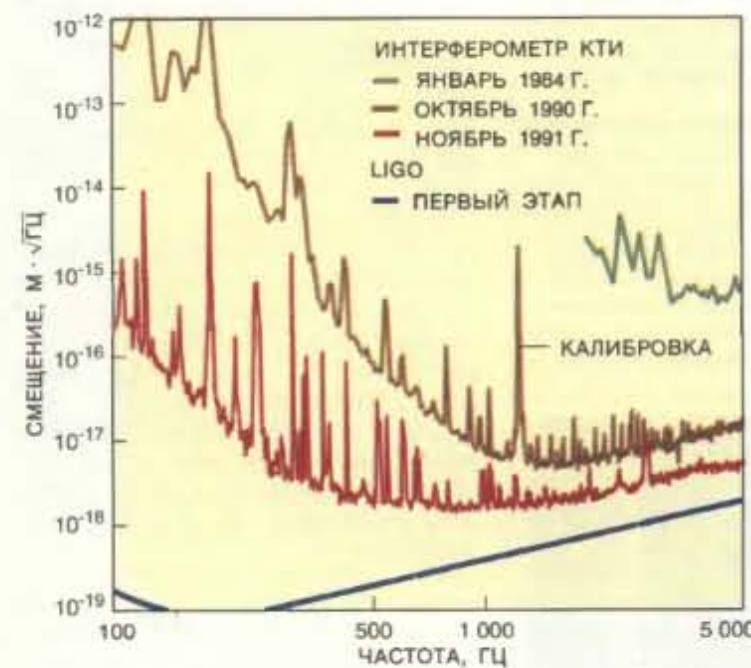
Для увеличения чувствительности интерферометра Вейсс разработал устройство, в которых лазерный свет отражается между двумя зеркалами много раз вдоль различных путей. Эта система, известная как оптическая линия задержки, существенно повышает эффективную длину интерферометра. В то же время Дриввер разработал схему, в которой используются «резонаторы Фабри — Перо». В этой системе лазерный свет отражается между двумя зеркалами вдоль одной и той же траектории, что резко повышает мощность интерферометра.

Вейсс экспериментировал с интерферометром, L-образные «лапы» которого — путь между зеркалами и делителем пучка — имели длину 1,5 м. Дриввер же построил и опробовал 40-метровый интерферометр.

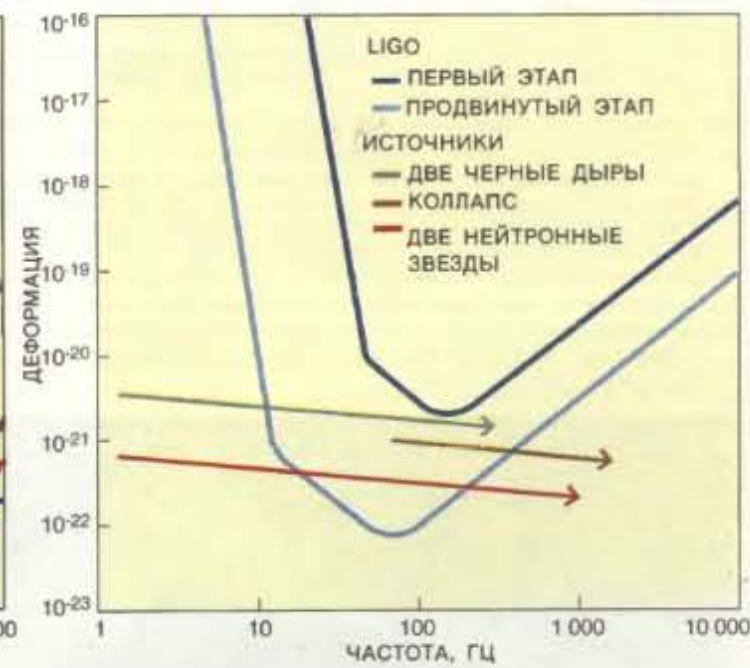
Когда группа из КТИ стала, казалось, лидировать, Вейсс в 1981 г. решил «сделать что-нибудь впечатляющее». С целью привлечь внимание ННФ и обеспечить финансирование МТИ он приступил к детальной проработке конструкции и оценке стоимости интерферометра километрового масштаба. Но этим он стимулировал и активность Торна и Дриввера, которые хотели, чтобы именно КТИ оставался в авангарде исследований.

ННФ сгладил соперничество, вынудив МТИ и КТИ «вступить в брак», и это ознаменовало официальное начало проекта LIGO. Для управления исследованиями ННФ организовал специальный комитет в составе Торна, Дриввера и Вейсса. «Это оказалось фатальной ошибкой», — говорит Вейсс. Три физика пустились в длительные споры о том, как должен строиться и эксплуатироваться крупномасштабный интерферометр.

В 1986 г. ННФ финансировал про-



СПЕКТР СМЕЩЕНИЙ показывает, как повышалась чувствительность интерферометров КТИ в последние годы в сравнении с предполагаемой чувствительностью установки LIGO. Способность интерферометра обнаруживать гравитационные волны зависит как от спектра смещений, так и от природы волн. Для короткого импульса гравитационного излучения определенной частоты наименьшее обнаруживаемое изменение равно приблизительно смещению при данной частоте, умноженному на корень квадратной из этой частоты. Узкие пики не снижают значительно чувствительность устройства.



СПЕКТР ДЕФОРМАЦИЙ показывает ожидаемую чувствительность установки LIGO и влияние трех источников гравитационных волн. Красная линия показывает диапазон амплитуд и частот волн, которые могут быть измерены на Земле, для случая, когда находящиеся от нас в 650 млн. св. лет две нейтронные звезды движутся по спирали к друг другу. Коричневая линия относится к асимметрично коллапсирующей звезде, находящейся в 100 млн. св. лет. Зеленая линия соответствует двум сливающимся черным дырам, в 10 раз превышающим Солнце по размерам и удаленным на 650 млн. св. лет.

Начинается эпоха гравитационной астрономии

Наблюдая гравитационные волны, ученые надеются изучить некоторые из наиболее загадочных явлений во Вселенной: взрывы массивных звезд, взаимодействия между нейтронными звездами и столкновения черных дыр. Для регистрации полезной информации об источниках гравитационных волн астрофизикам, по их расчетам, нужны по крайней мере три установки километровых размеров, расположенные в разных частях света. Правительство США уже выделило 23,5 млн. долл. на проект LIGO, предусматривающий создание двух таких установок.

Утверждение проекта LIGO породило надежды, что это финансирование может оказать стимулирующее воздействие на аналогичные проекты в других странах. В настоящий момент США лидируют в области, связанной с регистрацией гравитационных волн, однако Германия, Великобритания, Франция и Италия отстают не слишком сильно. Приступили к реализации большой программы и японцы.

Каждая установка для регистрации гравитационных волн будет содержать одно или несколько устройств, называемых интерферометрами. Эти устройства достаточно чувствительны для обнаружения небольших смещений, которые должны возникнуть, когда компоненты интерферометра станут взаимодействовать с гравитационной волной. Чувствительность устройства связана с его длиной. Применяя три интерферометра одновременно, ученые смогут определить приблизительное положение источников гравитационных волн на небе. Точность такого определения возрастает с увеличением количества детекторов и расстояния между ними.

Германские и британские исследователи договорились построить трехкилометровый интерферометр. Однако, хотя проект получил одобрение научной общественности в обеих странах, германское правительство пока не выделило на него ассигнований, а британские правительственные организации не готовы делать солидные финансовые вклады в этот проект.

Карстен Данцманн — один из двух директоров проекта строительства германо-британского интерферометра. Он возглавляет также группу ученых, занятых переработкой 30-метрового интерферометра, находящегося в Институте квантовой оптики общества им. Макса Планка в Гархинге. «Я считаю, что одобрение проекта LIGO — это большая поддержка аналогичным европейским планам, — говорит он. — Еще есть шансы завершить постройку американских и европейских детекторов в одно время и открыть эру гравитационной астрономии».

Германские и британские исследователи надеются на сотрудничество со своими французскими и итальянскими коллегами, у которых в планах — создание своего трехкилометрового интерферометра. Весной французские и итальянские официальные лица должны были решить, финансировать ли работы по проекту. Согласно Алену Бриё, соруководителю франко-итальянского проекта, сумма, которая может быть выделена на проект, «даже не приблизится к 23 млн. долл. в 1992 г., но «зеленый свет», данный LIGO, окажет сильное влияние на принятие решения по данному вопросу».

Японские исследователи быстро становятся серьезными соперниками в этой области. Недавно они построили 10-метровый интерферометр в Институте космических исследований и аэронавтики (ISAS). В апреле 1991 г. японцы приступили к осуществлению рассчитанного на четыре года проекта стоимостью 5 млн. долл. по созданию 20-метрового интерферометра в Национальной астрономической обсерватории и 100-метрового детектора в ISAS. Нобуки Кавасима, директор программы в ISAS, говорит, что «100-метровый интерферометр будет построен для того, чтобы избежать «инженерного риска», связанного с прыжком от 10-метрового детектора к детектору километрового масштаба».

Директор LIGO Рохус Вогт комментирует происходящее такими словами: «Пришло время сорвать плод».



ЛАЗЕРНЫЙ СВЕТ отражается взад-вперед между зеркалами в демонстрационном опыте в установке с линией задержки на 30-метровом интерферометре в Германии.

ведение конференции для обсуждения планов в отношении проекта LIGO. На конференции 55 ученых и инженеров высказывали свои аргументы касательно LIGO перед «жюри» из восьми физиков, имевших опыт либо в исследовании гравитационных волн, либо в управлении крупными научными проектами. Жюри всецело одобрило научные цели проекта LIGO и обратилось к ННФ с рекомендацией финансировать строительство установок.

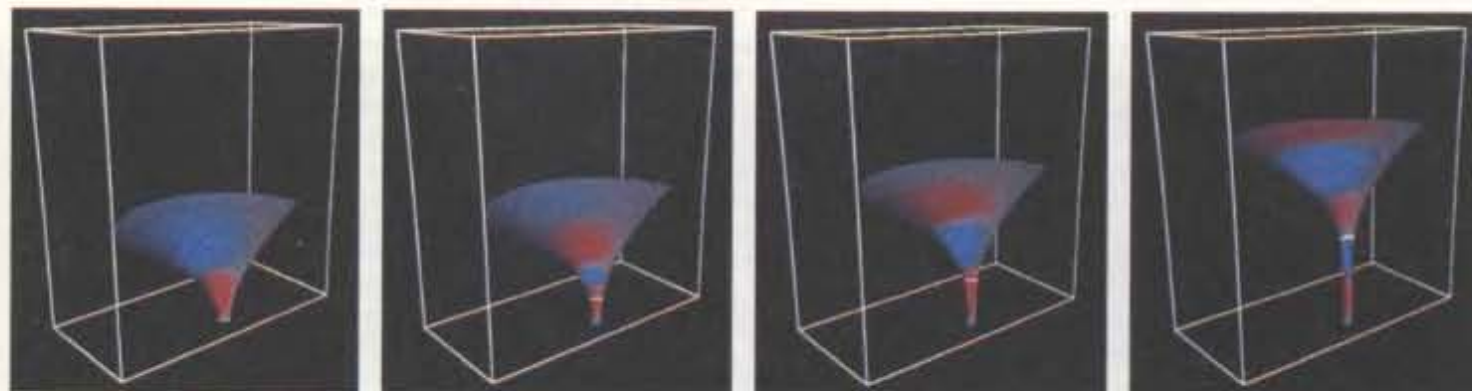
Но, предвидя проблемы в управлении проектом, эта группа советников рекомендовала также, чтобы ННФ назначил директора LIGO. Год спустя Рохус Вогт принял предложение занять этот пост. Вогт, известный профессор физики и в прошлом вице-президент КТИ, был недоволен продвижением «команд» МТИ и КТИ. Он попытался «перекинуть мостик между МТИ и КТИ» и подверг команду мучительной перепалке.

Драйвер, Вейсс и их коллеги были приучены заниматься экспериментальной физикой в умеренных масштабах. Они наслаждались независимостью и свободой. Однако Вогт понял, что LIGO — это не «комнатная» физика, а большая наука. Ему пришлось сконцентрировать внимание команды строго на задаче развития LIGO. «Для постройки небольшого эффективного L-образного детектора старый подход годился как нельзя лучше, — пояснил он. — Для постройки четырехкилометровой установки LIGO он был крайне опасным».

В 1987 г. Вогт решил отложить на время начало сооружения установки LIGO и настоял на проведении более детальных исследований, которые убедили бы его, что проект достигнет целей. Он также решил сконцентрировать усилия группы на разработке интерферометра Фабри—Перо и прекратить работу над системой с линией задержки. Вейсс, хоть и неохотно, но поддержал это решение.

Контроль шума

В течение следующих двух лет команда LIGO анализировала различные прототипы компонентов, проводя также тщательное изучение возможных источников шума. Согласно заместителю директора LIGO Стэнли Уиткомбу, главное беспокойство на низких частотах вызывает сейсмический шум, создаваемый вибрациями, передающимися от почвы оптическим компонентам установки. На высоких частотах основной про-



ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГРАВИТАЦИОННОЙ ВОЛНЫ с черной дырой, моделируемое на суперкомпьютере. Черная дыра искривляет пространство, что представлено воронкой. Красные и синие области — гравитационные волны. Область ниже белой полосы — внутренность черной дыры. На ряде последовательных изображений (слева направо) видно, как гравитационная волна при-

ближается к черной дыре и входит в нее, заставляя черную дыру генерировать новые волны. Изображения основаны на результатах компьютерного моделирования, выполненного под руководством Дейвида Хобилла, Ларри Сматра и Дейвида Бернштейна из Иллинойского университета.

блемой является так называемый дробовой шум — результат флуктуаций мощности лазерного пучка. Наиболее серьезную трудность на средних частотах представляет тепловой шум подвески, который возникает из-за того, что все структуры слегка вибрируют пропорционально своей температуре.

Вначале исследователи разработали модели, которые описывают действие каждого источника шума, и проверили каждую модель в экспериментах на 40-метровом интерферометре, принадлежащем КТИ. После этого они «экстраполировали» полученные результаты, чтобы предсказать, какое влияние окажет каждый источник шума на чувствительность 4-километрового интерферометра LIGO. «В этом деле даже малейший промах непростителен, — заявляет Вогт. — Одна ошибка — и все пропало».

В конце 1989 г. Вогт и его группа решили, что они готовы представить ННФ свои предложения по конструкции детектора. Интерферометр LIGO, как он видится теперь, будет состоять из двух установок, находящихся в двух удаленных друг от друга местах. Каждая установка будет включать L-образную вакуумную систему с 4-километровыми «линиями». Две установки могли бы «вместить» в общей сложности девять интерферометров, работающих одновременно. Идея состоит в том, чтобы наращивать интерферометры на протяжении нескольких лет, начав с простейших систем и добавляя постепенно более сложные. Как объясняет Вогт, «наихудшее, что мы можем сделать, это построить облицованный золотом «Кадиллак», в который все хитроумные штуки будут встроены с самого начала».

Около 1997 г., если все пойдет по плану, команда LIGO соорудит по одному 4-километровому интерферометру в каждой точке и дополнительный 2-километровый интерферометр в одной из точек. С помощью трех детекторных систем, по мнению группы, удастся исключить ложные сигналы, которые могут быть приняты за гравитационные волны. Группа полагает, что это первоначальное устройство будет способно измерять деформации порядка 3×10^{-21} , что, скорее всего, в 10 раз меньше чувствительности, требуемой для регистрации гравитационных волн, идущих от двойных нейтронных звезд.

Проведя поиск гравитационных волн при такой чувствительности, конструкторы LIGO планируют установить несколько более совершенных детекторных систем, которые разрабатываются в настоящее время. Они заявляют, что эти системы повысят чувствительность до заветной величины 4×10^{-22} и дадут хороший шанс зарегистрировать гравитационное излучение двойных нейтронных звезд. Конструкторы надеются, что к тому времени, когда они установят эти детекторы, одна из групп разработчиков в Европе, Японии и Австралии построит третий детектор километрового масштаба (см. текст в рамке на с. 80). Третий детектор даст возможность определить положение источников гравитационного излучения на небе.

Однако LIGO все еще приходится сталкиваться с капризами политиков и финансирующих организаций. В мае 1990 г. Национальный комитет по научным исследованиям одобрил проект, но последующий ноябрьский конгресс выделил только

500 000 долл. для продолжения инженерных и конструкторских работ. В марте 1991 г. один из подкомитетов Комитета по науке, космосу и технике палаты представителей вновь обсудил проект. Были заслушаны Вогт, Энтони Тайсон из AT&T Bell Laboratories и другие.

Оппонировал Тайсон, который занимается, в частности, поиском гравитационных волн. Он заявил, что в первоначальном виде установка LIGO будет, скорее всего, иметь чувствительность в 100 раз меньше, чем нужно для исследования двойных нейтронных звезд. «По моему мнению, сейчас преждевременно принимать окончательное решение о разрывании работ по LIGO в полном объеме», — заявил он и посоветовал отложить постройку установки LIGO до тех пор, пока исследователи не продемонстрируют на интерферометре КТИ, что они действительно контролируют источники шума. Комитет палаты представителей согласился: в июне он по-прежнему поддерживал «расходование средств на исследовательскую деятельность и конструкторские разработки», но был против выделения денег на постройку установки LIGO. ННФ, КТИ и МТИ в ответ на это организуют себе поддержку в сенате. Они аргументируют свою позицию тем, что LIGO активно поддерживается физиками, которые внимательно изучили проект. Они заявляют, что Тайсон недооценил чувствительность установки LIGO.

Сторонники LIGO утверждают, что готовы к строительству установки. Они считают, что вариант LIGO меньшего масштаба не будет эффективным с точки зрения затрат, замедлит разработку новых технологий и значительно снизит шансы на

обнаружение гравитационных волн.

На сегодняшний день сторонники проекта, похоже, не в обиде. Сентябрьский конгресс постановил выделить 23,5 млн. долл., чтобы приступить к строительству установки LIGO. Но оппозиция еще не отступила. Так, многие физики склонны думать, что LIGO, — подобно другим проектам «большой науки», таким, скажем, как Сверхпроводящий суперколлайдер, — не должен быть ограничен национальными рамками. Астрономы же опасаются, что выделение средств на реализацию LIGO приведет к уменьшению фондов, отпускаемых на астрономические исследования, несмотря на заявления Вогта и других лиц, что LIGO не «перетянет» деньги из других исследовательских программ, поскольку для нее имеется отдельная статья расходов в бюджете.

Согласно планам, однако, группа LIGO создаст окончательные инженерные чертежи для установок-близнецов в течение текущего года и выберет в континентальной части США два разнесенных на большое расстояние участка со следующими свойствами: ровная местность, большое свободное пространство и акустическая и сейсмическая «тишина». Уже получено 19 заявок из 17 штатов с предложениями построить там одну из установок.

Стоимость этих «рабочих мест» — и даже собственно интерферометров — не идет ни в какое сравнение со стоимостью вакуумных систем. Все компоненты LIGO должны работать в условиях вакуума, чтобы свет лазера не рассеивался на молекулах газов. Для каждого места потребуются стальные трубы, заключающие в себе объем в 9000 куб. м; это будет крупнейшая в мире вакуумная система. Стоимость этой системы, соответствующих структур и зданий поглотит 90% бюджета LIGO.

«Я думаю, LIGO — это выстрел с дальним прицелом, в том смысле, что он позволяет заглянуть на неизведанную территорию, — говорит Джозеф Тэйлор. — Но люди потому и занимаются наукой, что не знают заранее ответов на все вопросы».

В конечном счете оправданием для LIGO будут новые знания о Вселенной и природе гравитации. Даже одно лишь доказательство существования гравитационных волн станет достижением, которое оправдает всю затею. Однако это доказательство стало бы лишь началом серии экспериментов, которые должны подтвердить современные теории или поставить их под сомнение.

Физики, например, должны суметь

определить такие фундаментальные характеристики, как скорость гравитационных волн. Если волны распространяются со скоростью света, как предсказывает теория, «вал» гравитационных волн, рожденных каким-либо событием, должен прибывать в некую точку одновременно с электромагнитным излучением.

За первой волной

Торн легко соглашается с тем, что LIGO охотится за более крупным зверем, нежели двойные нейтронные звезды. Предел его мечтаний — черные дыры. Астрономам известно очень мало о том, сколько черных дыр может существовать (не говоря о количестве двойных систем с черной дырой), однако, по мнению Торна, «большинство ученых мужей полагают, что, если LIGO охватит взглядом всю Вселенную, мы увидим, как ежегодно сливаются много пар, содержащих черные дыры».

Две черные дыры, подобно двум нейтронным звездам, должны двигаться по спирали навстречу друг другу, порождая гравитационный сигнал с быстро возрастающей амплитудой и частотой. Гравитационный сигнал от двойной системы, как показал Шюц, несет информацию об эксцентриситете и наклонении орбиты, массах объектов и абсолютном расстоянии до источника. А результирующее столкновение двух черных дыр создаст исключительные условия для проверки теории относительности. «Впервые мы, быть может, увидим в экспериментальных условиях, на что похожи черные дыры», — говорит Торн.

У теории Эйнштейна отличный «послужной список» в том, что касается предсказаний реакции пространства и времени на небольшие медленно движущиеся массы. Однако теоретики не очень преуспели в том, чтобы на основе уравнений Эйнштейна предсказать реакцию пространства на столкновение черных дыр. Причина, как объясняет Торн, в том, что уравнения Эйнштейна «чудовищно нелинейны», а динамика столкновений может быть весьма чувствительной к таким параметрам, как массы черных дыр и скорость их вращательного и орбитального движения.

Торн ждет, когда экспериментаторы зарегистрируют гравитационные волны, рожденные столкновением черных дыр, а теоретики научатся моделировать такие события на суперкомпьютерах. «Сравнивая наблюдения с расчетами, мы сможем намного глубже понять, что же такое тяготение», — говорит он.

В далекой перспективе исследователи, возможно, даже зарегистрируют гравитационное излучение, возникшее в момент рождения Вселенной, или, как говорят, Большого взрыва. Теоретики рассчитали, что гравитационное излучение впервые возникло спустя 10^{-42} с после Большого взрыва. Они считают, что гравитационные волны начиная с этого момента свободно распространялись сквозь Вселенную, не поглощаясь и не рассеиваясь веществом. Таким образом, эти волны могли бы рассказать о том, какой была Вселенная в начальный момент времени.

Для сравнения электромагнитное излучение начало свободно распространяться сквозь Вселенную миллионы лет спустя после Большого взрыва. Физики зарегистрировали это излучение, что позволило им сделать важные выводы об эволюции Вселенной.

Хотя теоретики и предполагают, что гравитационные волны должны рождаться сближающимися по спирали нейтронными звездами, взрывающимися массивными звездами, сталкивающимися черными дырами и даже Большим взрывом, все их предсказания в фундаментальном смысле ограничены. Они основаны на информации о Вселенной, которую астрономы получили по электромагнитным сигналам. Некоторые предсказания об источниках гравитационных волн почти наверняка неправильны. Разузнать об этих источниках, изучая только электромагнитное излучение, это все равно, что попытаться понять, как звучит оркестр, наблюдая только за дирижером.

По мнению теоретиков, нелогично предполагать и то, что все мощные источники гравитационного излучения излучают также электромагнитную радиацию и потому являются видимыми. По всей вероятности, Вселенная содержит источники, о существовании которых пока никто не подозревает. «Единственное, что мы можем обещать, — это сливающиеся нейтронные звезды, — заявляет Вогт. — Однако я лично думаю, что у нас есть возможность увидеть куда больше».

Вогт, которому сейчас 62 года, не питает иллюзий относительно своей роли. «Я останусь на посту, дожидаясь лишь момента, когда откроется окошко. Брошу один взгляд в него и умру, — говорит он с пугающей убежденностью. — Другие узнают вещи, о которых я никогда не грезил и о которых никогда не узнаю». Но при этом он добавляет: «Первый взгляд стоит того, чтобы посвятить остаток моей жизни проекту LIGO».

Наука и общество

Проблемы разоружения

«И перекуют мечи свои на орала и копыя свои — на серпы; не поднимет народ на народ меча и не будут более учиться воевать».

Исайя, 2:4

ДАЖЕ в наилучших условиях перековка мечей на орала, или, обращаясь к современности, конверсия систем наведения ракет в телевизоры, кажется чем-то неправдоподобным. Между тем в настоящее время основные производители оружия не имеют широкого выбора. Как в США, так и в республиках бывшего Советского Союза они испытывают трудности в том, чтобы достижения своей разрушительной технологии обратить на мирные нужды.

Общая экономическая ситуация в мире снизила привлекательность оружейного бизнеса до такого уровня, о котором прежде пацифисты могли только мечтать. Во-первых, централизованно планируемая экономика потерпела крах, что дало потребителям возможность заявить о своей давней потребности в модной обуви и видеомассе. Когда «разразился мир», бремя бюджетного дефицита США стало подавлять настойчивое желание по-прежнему щедро финансировать военную промышленность.

Во-вторых, на мировом рынке оружия в настоящее время наблюдается снижение активности. Люди в мире по-прежнему убивают друг друга, но, по крайней мере сейчас, многие из них не имеют достаточных средств, чтобы приобрести много оружия, говорит Майкл Д. Интрилигейтор — экономист из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе. Со времени окончания ирано-иракского конфликта, третьей крупнейшей войны (если судить по количеству убитых) в этом столетии, «наблюдается значительное уменьшение спроса на вооружение», — замечает он.

Как ни замечательна мировая тенденция перековать мечи на орала, она связана с решением сложных задач, гораздо более прозаических, чем преследование подводной лодки противника, как это часто изображают в кино. В одном отношении военные подрядчики как в США, так и в бывшем СССР сталкиваются с одинаковыми проблемами, замечает Лоуренс Р. Клейн — лауреат Нобелевской премии, экономист из Пенсильванского университета. Производители оружия по обеим сторонам железного занавеса привыкли служить одному заказчику, у которого были строго определенные запросы и который имел бездонные карманы доброго дя-

ди. Производство же потребительских товаров связано с тем, что приходится приспосабливаться к потребностям и прихотям широкого спектра потребителей, которым безразлично, сколько будет стоить товар.

Но у бывшего советского военно-промышленного комплекса есть и свои, присущие только ему проблемы, которые носят критический характер, считает Джулиан Купер, возглавляющий Центр исследований по России и Восточной Европе в Бирмингемском университете (Великобритания). Например, в США решения по сокращению военного производства принимает в основном конгресс, что же касается России, Украины и других 10 независимых республик, то неясно, кто там будет принимать подобные решения.

Кроме того, поскольку республики осознают, что разногласия между ними могут прекратиться, изменения, которые они вносят в существующие военные инфраструктуры, носят в основном косметический характер. По мнению экономистов, такая нерешительная конверсия может оказаться столь же успешной, как и попытка открыть ресторан быстрого обслуживания, где на первое подают суфле. «Можно «конвертировать» людей, но учреждения гораздо труднее поддаются конверсии», — замечает Джеффри Б. Миллер, экономист из Делаверского университета. Он считает, что правительствам следует сломать старые учреждения и полагаться на гибкость рабочей силы, которую можно переключить на коммерческую деятельность.

Однако переориентировать заводы, производящие боевую технику, на новые виды деятельности, например на развитие туризма, будет сложно. Советские предприятия обычно представляли не только работу, но и жилье, продовольствие, а также гарантии социального обеспечения. Купер считает, что лишь немногие работники этих предприятий психологически готовы к самой идее их закрытия.

Опасения этих рабочих и служащих зачастую оправданы. Из-за нехватки жилья им трудно оставить свой город и отправиться на поиски работы. Неудивительно поэтому, что уже первые попытки конверсии окрестили *конвульсией*. По словам Купера, «директорам заводов часто приходится констатировать, что их предприятия «попали под конверсию», будто речь идет о человеке, попавшем под автобус».

Другие проблемы, возникающие при попытках превратить военные производства в коммерческие пред-

приятия, связаны со множеством изменений в других политических и экономических структурах. Финансирование научных исследований и опытно-конструкторских разработок осуществляется хаотически. Лучшие ученые и инженеры направляются в другие страны, некоторые из них, возможно, предложат свои знания в области производства оружия тем, кто больше им заплатит. Ощущается нехватка основных материалов для производства потребительских товаров. К тому же существуют и более сложные проблемы, среди них — нехватка продовольствия.

Между тем обремененные множеством проблем производители оружия, возможно, еще питают надежды на то, что Россия и другие республики войдут в рынок. Рабочие и служащие в военной инфраструктуре обычно лучше всего подготовлены, и их труд оплачивается наиболее высоко. Многие из них желают заняться бизнесом, с тем чтобы сохранить или повысить свой жизненный уровень. По прогнозам экономистов, когда эти люди получат возможность управлять и принимать решения, высвободятся новые ресурсы.

Просветление в этой области уже заметно. При формальном отсутствии рынков товаров все большую силу набирает бартерный обмен, замечает Купер в своей недавно опубликованной книге «The Soviet Defence Industry» (изданной Советом по международным отношениям). Например, Центр управления полетами бывшего СССР содействовал созданию биржи товаров и сырья, предлагающую надежную коммуникационную систему предназначавшуюся для управления полетами корабля много-разового использования «Буран».

Иностранные вкладчики, особенно из Южной Кореи, начинают проявлять заинтересованность. Введение республиками своих валют также должно способствовать стабилизации местных экономик, считает Купер. «По крайней мере они перестанут обвинять друг друга в своих проблемах», — замечает он.

Купер даже усматривает свои положительные стороны в «исходе ученых». Если выехавшие ученые будут поддерживать контакты со своими бывшими коллегами, то они помогут интегрировать оставшееся научное сообщество России в международное сообщество ученых. Финансовые дивиденды, которые приносит мир, пока слишком малы, чтобы фигурировать в национальных балансовых отчетах, однако со временем они могут возрасти, если правительства заменят военные исследования экономическими.

Элизабет Коркоран

В инфракрасном свете



ДОНАЛЬД ДЖ. МУНИ

МЫ МОЖЕМ ощущать тепло и видеть его воздействие на атмосферу, например, наблюдая мираж. Мы можем также обнаруживать горячие предметы другим способом: по инфракрасному излучению, которое они испускают. Большинство инфракрасных датчиков представляют собой сложные твердотельные приборы (см. статью: Джерри Силверман, Джонатан М. Муни, Фриман Д. Шеперд «Инфракрасные видеокамеры», с. 54). Недавно я сконструировал простую инфракрасную камеру, используя вогнутое сферическое зеркало и жидкий кристалл. И хотя моя камера не так чувствительна, как современные устройства, с ее помощью я могу видеть инфракрасное излучение от горячего предмета, находящегося на расстоянии нескольких футов от нее.

Для проверки задуманной конструкции камеры я начал с того, что взял лампу накаливания, зеркало для бритвы и жидкий кристалл из «датчика настроения». Зеркало я использовал для фокусировки излучения лампы на жидкий кристалл. Примерно через секунду на кристалле появилось изображение, которое быстро расплылось в большой круг. К сожалению, я не мог сказать, реагировал ли жидкий кристалл на инфракрасное излучение или на теплоту, возникающую при поглощении кристаллом видимого света лампы.

Тем не менее проведенный эксперимент вдохновил меня на создание более сложной камеры. Я приобрел высококачественное зеркало и набор жидких кристаллов, обладающих хорошей температурной чувствительностью. (Такие кристаллы можно заказать по каталогу поставок для научных исследований.) Я купил также крепежные изделия для постройки жесткой опоры для фиксации зеркала и жидких кристаллов. Все эти материалы я приобрел всего за 250 долл. Для сравнения: выпускаемые промышленностью инфракрасные камеры стоят тысячи долларов.

Наиболее дорогой частью моей аппаратуры было зеркало (около 150 долл.). Его качество и размер в конечном счете определяют разрешение и чувствительность камеры. Я остановился на зерка-

ле с золотым покрытием диаметром 152 мм и фокусным расстоянием 305 мм. Золотое покрытие отражает большую часть инфракрасного излучения, причем поглощает некоторое количество видимого света.

Размер и фокусное расстояние зеркала были выбраны мной согласно основным законам оптики. Сначала я рассчитал, на каком расстоянии от зеркала должно фокусироваться изображение объекта. Это расстояние равно следующему отношению:

$$\frac{\text{расстояние от объекта до зеркала} \times \text{фокусное расстояние}}{\text{расстояние от объекта до зеркала} - \text{фокусное расстояние}}$$

$$\frac{\text{расстояние от объекта до зеркала}}{\text{фокусное расстояние}}$$

Следовательно, зеркало с фокусным расстоянием в 305 мм будет фокусировать предмет, находящийся на расстоянии 914 мм от зеркала, в точку, находящуюся перед зеркалом на расстоянии 457 мм от него.

После этого я рассчитал увеличение зеркала, которое равно отношению расстояния от зеркала до изображения к расстоянию от зеркала до объекта. При расстоянии от зеркала до объекта 914 мм и от зеркала до изображения 457 мм увеличение равно 0,5, т. е. изображение будет на 50% меньше, чем объект. Я хотел бы также отметить, что изображение появится перевернутым «вверх ногами».

Каждый из шести жидких кристаллов общей стоимостью примерно 30 долл. был шириной 153 мм, длиной 305 мм и толщиной 0,2 мм. Кристаллы обладали чувствительностью в различных диапазонах температур (от 20—25 °C до 40—45 °C). В дальнейшем я понял, что кристаллы, чувствительные к низким температурам, лучше работают в холодном помещении, тогда как другие, чувствительные к более высоким температурам, больше подходят для работы в теплых условиях.

Все жидкокристаллические пластинки изготовлены из майлара, покрытого двумя слоями пасты. Внутренний слой является жидким кристаллом, а внешний слой — это чер-

ная паста. Слой жидкокристаллической пасты представляет собой смесь трех различных составов, содержащих холестерин (см. статью: J.L. Ferguson. Liquid Crystals, "Scientific American", August, 1964). Жидкокристаллическая паста герметизирована таким образом, что не вытекает при разрезании пластинки кристалла.

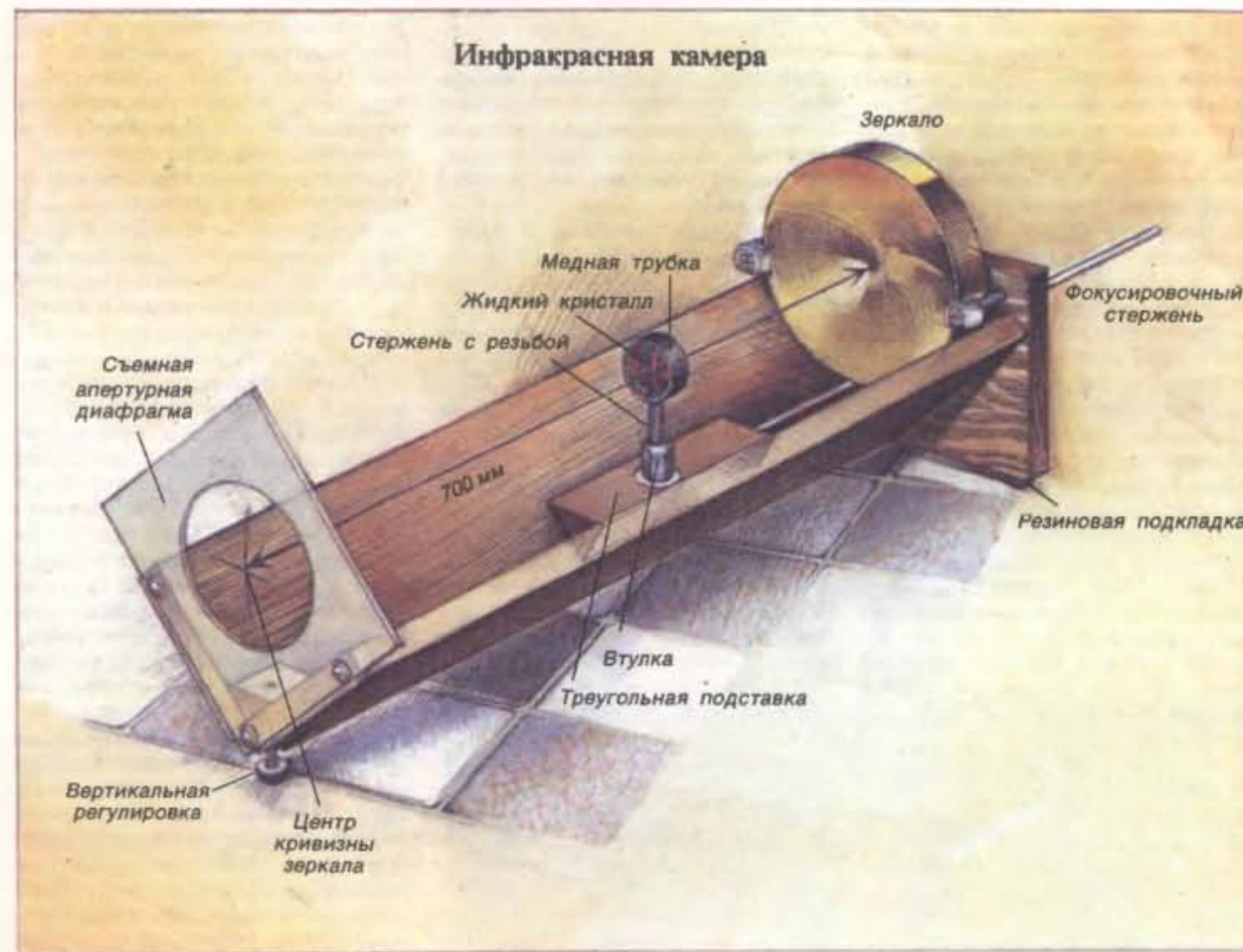
Для изготовления опорной конструкции, известной как оптическая скамья, я прежде всего соединил две доски под углом 90°, сделав тем самым широкую направляющую (см. рисунок на соседней странице). Затем к одному концу направляющей я прикрепил небольшую доску для поддержки сферического зеркала. После этого я вырезал треугольную подставку, которая могла скользить по направляющей. В верхней части подставки я просверлил отверстие для резьбовой втулки. Втулка сопрягалась с резьбовой латунной стойкой, к которой я прикрепил трубку длиной 12 мм и диаметром 25 мм. Наконец, я вырезал кусок жидкого кристалла и вставил его в кольцо.

Двигая подставку по направляющей, можно было перемещать жидкий кристалл относительно зеркала и следовательно, регулировать фокусировку камеры. Высоту установки жидкого кристалла также можно было регулировать в небольших пределах посредством ввинчивания или вывинчивания устройства с трубкой из резьбовой втулки. (При достижении нужной высоты в качестве контргайки использовалась муфта.)

Сначала я сконструировал установку так, что инфракрасное излучение должно было отражаться от зеркала и непосредственно освещать жидкий кристалл. Оказалось, что намного лучше результаты можно получить направляя излучение на черную поверхность жидкого кристалла. По видимому, черная паста поглощает энергию инфракрасного излучения и нагревает жидкокристаллическую пасту. Нагретая паста изменяет свою окраску.

Для того чтобы испытать аппаратуру, я обыскал дом в поисках источников теплового излучения и пробовал использовать для этой цели горячий чайник, 250-ваттную лампу, нагревательный элемент электрической плитки и карманный фонарик. (Хочу предупредить всех, кто попытается проводить такие эксперименты, что при неосторожном обращении с различными источниками инфракрасного излучения можно получить серьезные ожоги.)

Жидкие кристаллы не реагировали на чайник с кипящей водой. Под воздействием лампы накаливания камера регистрировала несколько горячих



пятен, которые быстро расплывались. Раскаленный докрасна нагреватель электрической плитки приводил к мгновенному заплыванию изображения на поверхности жидкого кристалла. Кристалл, однако, фиксировал излучение от карманного фонарика, и, поворачивая его перед камерой, я мог рисовать узоры на кристалле.

Меня беспокоил тот факт, что жидкие кристаллы реагировали не на инфракрасное излучение, а на видимый свет. Чтобы убедиться, что это не случайность, я решил воспользоваться кусочком кремния, который поглощает видимый свет и только ослабляет интенсивность инфракрасного излучения. Я поместил перед камерой кристалл кремния диаметром 100 мм и толщиной 0,5 мм. С такой установкой я опробовал несколько источников излучения и обнаружил, что изображения на поверхности жидкого кристалла все же появлялись и, как и ожидалось, были несколько затемненными.

В конце концов я обнаружил, что идеальным источником инфракрасного излучения для моих опытов является утюг. Температуру утюга можно было весьма точно регулировать в диапазоне от 50 до 250 °C. (Его темпе-

ратуру можно было измерять кухонным термометром.) Утюг оказался хорошим источником теплового излучения и по другой причине: его основание сделано из тефлона, который быстро нагревается и испускает инфракрасное излучение.

Я все же столкнулся с некоторыми трудностями при работе с утюгом. Когда его надолго оставляли в наклонном положении, он автоматически выключался, а некоторые его элементы вообще не работали. Мне пришлось убедить свою жену, что нам нужно купить новый утюг. Старый я разобрал и изменил его схему так, чтобы удобно было им пользоваться в моих опытах. На экспериментировании с утюгом и инфракрасной камерой ушло некоторое время. Когда утюг находился на расстоянии 3,6 м от камеры, на жидком кристалле появилось четкое изображение высотой около 20 мм.

После этого я приступил к определению разрешающей способности моей камеры. Перед утюгом я поместил пластмассовую лопаточку с четырьмя прорезями, каждая шириной 4 мм, рассудив, что лопаточка перекроет определенное количество инфракрасного излучения и, следовательно, об-

разует изображение, состоящее из нескольких полос. Для получения такого изображения потребовалось приложить некоторые усилия.

Необходимо было очень точно сфокусировать изображение. Чтобы это сделать, я подсветил лопаточку сзади карманным фонариком и, наблюдая свет от фонарика на темной стороне жидкого кристалла, сфокусировал изображение так, что мог четко видеть тень от лопаточки. (Поскольку моя инфракрасная камера была отражающей системой, видимые и инфракрасные лучи сходились в одном и том же геометрическом фокусе.)

После этого, заменив фонарик утюгом, я поставил перед камерой кусок картона, чтобы преградить излучение. Затем нагрел карманным фонариком жидкий кристалл и позволил ему остыть. Кристалл обладает наибольшей чувствительностью в тот момент, когда становится черным. Поэтому в этот момент я убрал картон, и в течение одной или двух секунд можно было видеть изображение тени от лопаточки.

Для съемки изображений, получаемых на поверхности жидких кристаллов, я использовал обычный фотоаппарат. Однако некоторая сложность

возникла при поднесении фотоаппарата к жидкому кристаллу. По этой причине я установил зеркало на опорной конструкции таким образом, чтобы изображение на кристалле можно было видеть сбоку. Такое расположение позволило мне поместить фотоаппарат в нескольких сантиметрах от

изображения.

Не сомневаюсь, что другие ученые-любители найдут способы повышения чувствительности и расширения диапазона инфракрасной камеры. Надеюсь, они получат удовольствие, как и я, наблюдая окружающий мир в новом свете.

Наука и общество

Отражение различий

ДО 1940-х ГОДОВ среди медиков бытовало мнение, что чернокожие не страдают болезнями сердца. Жалобы пациентов на боли в груди зачастую рассматривались как симптомы каких-то других нарушений здоровья, например расстройства пищеварения. В июле прошлого года в журнале "New England Journal of Medicine" появились две публикации, указывающие на то, что, хотя от болезней сердца и погибает ежегодно более 250 тыс. американок, в США женщины по сравнению с мужчинами меньше обследуются и не получают столь же интенсивного лечения, если состояние их здоровья не является особо угрожающим. «Медики, оказывающие первую помощь, не считают, что у женщин может быть большое сердце», — заявила представитель общества «За развитие исследований в области женского здравоохранения» в Вашингтоне Дж. Хауз.

Предубеждения и предрассудки вполне могут играть существенную роль в том, что женщинам и представителям национальных меньшинств оказывается недостаточная медицинская помощь. Однако специалисты в области здравоохранения все больше осознают и другой важный фактор. Несмотря на риск быть обвиненными в разжигании дискриминации, ученые исследуют различия между мужчинами и женщинами, белыми и цветными. «Я боялась, что меня забросают тухлыми помидорами», — говорит Э. Икер из отдела эпидемиологического надзора системы Центров по контролю заболеваний, вспоминая свои выступления на научных встречах, где она затрагивала вопрос о различии между полами. Теперь, по ее словам, идея о том, что «женщины имеют не только физическую, но и психологическую специфику» воспринимается более благожелательно.

Некоторые изменения в этом плане начались несколько лет назад, когда в конгрессе прошли слушания, посвященные проблемам женского здравоохранения. В докладе Главного статистического управления (GAO) указывалось, что Национальные институты здоровья (НИН) не откликаются

в достаточной мере на медицинские нужды национальных меньшинств и женщин. Результатом этой критики явилась организация в рамках НИН ряда подразделений, ведущих исследования по специальным программам, направленным на решение проблем здравоохранения национальных меньшинств и женщин.

Отчасти нынешние стремительные меры — а ведь за вовлечение женщин и национальных меньшинств в сферу реформ здравоохранения ведется борьба с 1960-х годов — стимулированы сложившейся демографической ситуацией. «Численность этих групп населения нельзя более игнорировать», — отмечает врач Ф. Хейзелтин, являющаяся директором Центра по изучению народонаселения при НИН. К 2010 г. более 21 млн. женщин достигнут пожилого возраста (т. е. вступят в период менопаузы); эта группа имеет существенное экономическое значение и вполне ориентируется в политике. По словам Хейзелтин, «что-то происходит с женщинами, они обретают голос».

В ответ на политическое требование началось выравнивание традиционных «перекосов» в спектре медицинских исследований. Клинические испытания новых лекарств и широкие научно-исследовательские работы обычно базировались на представлении о единообразии человеческого организма. В большинстве случаев за образец брались белые мужчины. Многие исследования, касающиеся предупреждения и лечения ишемической болезни сердца, в том числе проводившиеся в масштабе всей страны проверка пользы ежедневного приема аспирина и оценка влияния множественных факторов риска на ход лечения, также фокусировались исключительно на мужчинах.

Кроме этого на первой фазе клинических испытаний лекарственных средств обычно исключаются женщины детородного возраста из опасения возможного негативного воздействия нового препарата на плод. Таким образом, в продажу поступают лекарства, не проверенные на женщинах, которые, включая беременных, тоже могут ими воспользоваться. Зависимость эффекта лекарственного препа-

рата от пола больного была описана для некоторых антидепрессантов, противосудорожных и успокаивающих средств. «Женщины чаще, чем мужчины, непоправимо реагируют на лекарства, и эти реакции наиболее выражены именно в детородном возрасте», — утверждает член совета директоров Национального центра по ресурсам женского здравоохранения С. Блюменталь, руководящая одной из медицинских программ в Национальном институте психического здоровья.

В научных кругах подозревают, что исследователи и компании, так сказать, прячутся за вопросом о вреде для плода. Как считает Хейзелтин, дело вовсе не в судьбе плода и вполне резонно, если женщина, забеременевшая во время курса лечения, делает аборт — это процедура доступная, и здесь обсуждать нечего.

Некоторые уже предпринятые шаги убеждают, что будущие исследования охватят все слои общества. Заявки, подаваемые в НИН, на предоставление субсидий для проведения исследований лекарственных форм теперь должны включать план испытаний на женщинах и представителях национальных меньшинств; в противном случае необходимо привести аргументированное объяснение, почему это не делается. Управление по контролю качества пищевых продуктов, медикаментов и косметических средств США (FDA) может в некоторых случаях ослабить свои предписания для первой фазы клинических исследований. Институт медицины изучает некоторые этические аспекты использования женщин детородного возраста в качестве испытуемых. Блюменталь отмечает, что эти начинания уже приносят свои плоды и что очень важно сфокусировать исследования на тех группах населения, которые не были достаточно полно изучены ранее.

Только сейчас исследователи начинают понимать, что у женщин и представителей национальных меньшинств этиология заболеваний и реакция организма на лечение могут быть иными, чем у белых мужчин. Так, например, обнаружено, что после менопаузы при падении уровня эстрогенов возрастает уровень липопротеинов низкой плотности, который коррелирует с заболеваниями сердца.

По словам директора по исследовательским программам в Национальной сети женского здравоохранения С. Пирсон, такие нарушения, как опухоли типа фибромы, поражающие треть женщин в предклимактерический период, аутоиммунные заболевания, например волчанка, которая наблюдается большей частью у не-

гриенок, и депрессия, встречающаяся у женщин вдвое чаще, чем у мужчин, все еще не вполне понятны. Ежегодно каждая девятая американка умирает от рака молочной железы, причем чернокожие значительно реже выживают при этом заболевании, чем белые. Недавно в отчете GAO указывалось, что с 1971 г. в предупреждении этого рака нет прогресса.

Помимо всего прочего, как подчеркивает Блюменталь, женщины составляют наиболее быстрорастущую группу зараженных вирусом иммунодефицита, вызывающим СПИД. Однако изучение болезни и поиски способов ее лечения велись в основном на мужчинах. Не все полученные результаты могут быть распространены на женщин. В частности, для них вирус более вирулентен и промежуток времени от момента установления диагноза до смерти короче.

Разница между этническими группами не столь очевидна, как между мужчинами и женщинами. Большинство обнаруженных различий может быть обусловлено такими факторами окружающей среды, как социально-экономическое положение и питание. И, за исключением хорошо известных генетических болезней, таких, как серповидноклеточная анемия и болезнь Тея—Сакса, следует с осторожностью экстраполировать результаты исследований на расу в целом. «В истории уже были печальные случаи с мнимыми генетическими различиями между популяциями», — заметил Г. Никенс из Ассоциации американских медицинских колледжей.

Однако определенные различия имеют биологическую основу. Например, гипертония, как сообщает Р. Уильямс из Института здоровья национальных меньшинств в Беверли-Хиллз (шт. Калифорния), у чернокожих американцев по сравнению с белыми встречается в 2—6 раз чаще и риск смерти от ее осложнений в 10 раз выше.

Опубликованные прошлым летом результаты одного из исследований позволяют предполагать, что преимущество распространение глаукомы среди чернокожих генетически детерминировано. Это заболевание поражает черных американцев в 4—6 раз чаще, чем белых. Генетическая национальная специфика также может проявляться в реакции на лечение. Дж. Джавитт из Центра зрения при Джорджтаунском университете отмечает, что теперь хирурги учитывают большую склонность к образованию рубца при операциях по поводу глаукомы у черных пациентов. По предположению У. Стида из департамента здравоохранения шт. Арканзас, чернокожие могут иметь генети-

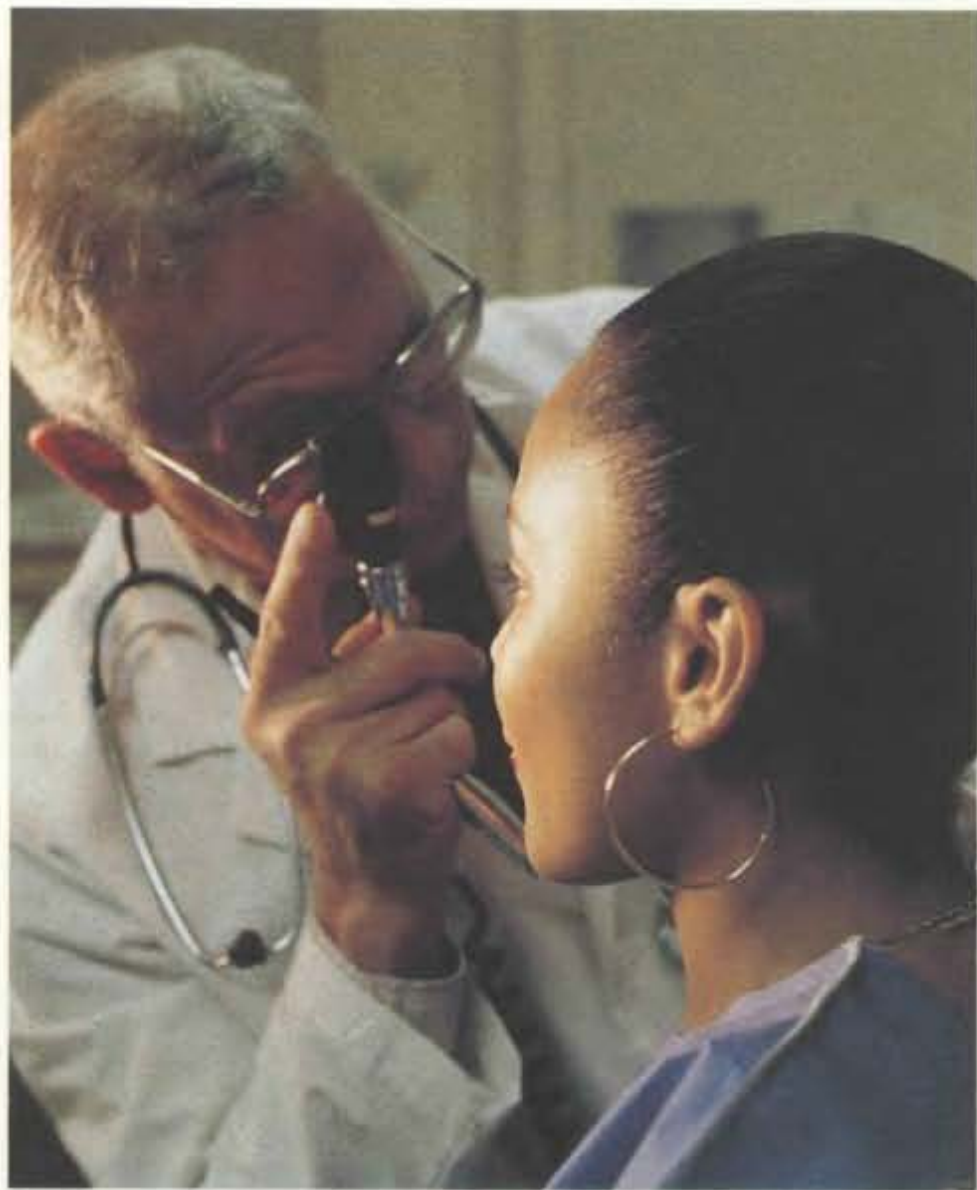
чески обусловленную восприимчивость к туберкулезу, чем определяется быстрое развитие болезни. У белых, напротив, туберкулез чаще принимает хроническую форму, нежели острую.

Многие исследователи считают, что всеохватывающие изменения в системе здравоохранения невозможны до тех пор, пока все группы населения не будут достаточно представлены в медицинской и научной сфере. Согласно данным Дж. Бикел из Ассоциации американских медицинских колледжей, в настоящее время женщины составляют 38% общего числа студентов-медиков — по сравнению с 25% 10 лет назад, — но редко возглавляют исследовательские лаборатории и медицинские учебные заведения. В отношении национальных меньшинств ситуация даже хуже. Чернокожие в возрасте от 20 до 29 лет составляют 13,2% всего населения, но

только 5,7% от числа студентов-медиков. «Мы должны расширить обучение представителей национальных меньшинств», — говорит один из директоров Бронкской клиники планирования рождаемости И. Раст.

Новые деятели в НИН утверждают, что они обеспечивают включение в исследования женщин и представителей национальных меньшинств и учет их интересов. Так, предпринято обследование более чем 60 тыс. женщин постклимактерического возраста для выяснения роли питания и эстрогенов в лечении сердечно-сосудистой системы, а также в профилактике рака молочной железы и остеопороза. Затрачено 1,5 млн. долл. на изучение гипертонии и сердечно-сосудистых заболеваний у чернокожего населения. «Расширение исследований дает надежду на будущее», — считает Блюменталь.

Маргарет Холлоуэй и Филип Ям



«РЕФОРМА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ будет медленной до тех пор, пока законодатели не займутся проблемой на всех уровнях», — говорит И. Раст из Бронкской клиники планирования рождаемости. (Фотография: Джейсон Голтц.)



ФИЛИП MORRISON

Дейвид Дресслер, Хантингтон Поттер. ОТКРЫТИЕ ФЕРМЕНТОВ. *Discovering Enzymes*, by David Dressler and Huntington Potter. Scientific American Library, 1991. Distributed by W.H. Freeman and Company (\$ 32.95).

Эта книга знакомит нас с широкими возможностями биохимии с молекулярной точки зрения. Однако в центре внимания — не «судьбоносная» программа, закодированная в клеточной ДНК. Авторы

— преподаватели в Гарвардском университете, занимающиеся также исследовательской работой, смотрят с другого конца цепочки переноса информации, где, собственно, только и возможно осуществление жизненного плана организма. Речь идет об арсенале молекулярных инструментов, которыми служат ферменты, главным образом белки.

Первые три из семи прекрасно иллюстрированных глав повествуют об истории химических экспериментов в

форме, доступной неуклюжему читателю. В 1835 г. великий шведский химик Йенс Якоб Берцелиус нашел путь к пониманию химической стороны многоликой природы живого мира: «У нас есть твердые основания предполагать, что у растений и животных в тканях и жидкостях организма происходят тысячи каталитических реакций, в ходе которых образуется множество веществ». Он приводит как давние данные, так и новые на тот момент, в частности о выделении газообразного кислорода из нестабильной жидкой перекиси водорода в присутствии золота и платины. Во всех процессах такого рода добавочный компонент, способствующий химической реакции, сам остается неизменным, как будто бы он не участник, а просто свидетель, но с удивительно мощным эффектом. Берцелиус назвал обладающие этой способностью субстанции катализаторами. Но даже в следующем поколении исследователей такие корифеи, как Юстус Либих и Луи Пастер, не верили в могущество молекулярных «свидетелей». Они отвергали идею Берцелиуса, замечая, что называть явление, касающееся химической реакции разложения, катализом — значит просто дать то же название по-гречески (греч. *katálysis* — разрушение). «В XIX в. химики были придирчивы, а великие химики и в этом превосходили всех».

Примерно к 1900 г. катализ был признан в научных кругах, но ферменты оставались загадкой. Белковые катализаторы трудно анализировать из-за их высокой активности. Активный препарат фермента может содержать посторонние белковые примеси, которые функционально «перевесят» миллиграммовые количества основного фермента, и результаты даже самого тщательного анализа окажутся противоречивыми. Казалось, что ферменты не являются белками. Однако в 1926 г. молодой исследователь из Корнеллского университета по имени Джеймс Б. Самнер впервые получил фермент в кристаллическом виде. Эти мелкие однообразные кристаллы полностью состояли из белка и содержали лишь небольшое количество воды. Однако возник вопрос: а не в водной ли фракции заключена ферментативная активность? Десять лет упорной работы привели к однозначному выводу: каталитическая способность коррелирует с белковыми кристаллами, как бы ни были они разделены или инактивированы.

Во второй половине книги появляется «главный герой». Здесь рассказывается не о ферментах вообще и не обсуждается длинный их список, а

описывается один специфический фермент, названный химотрипсином. У позвоночных животных он образуется в поджелудочной железе и служит для первоначального расщепления поглощенных с пищей белков в кишечнике. Строение химотрипсина представлено на ряде искусно выполненных карт. Порядок аминокислотных остатков в полипептидной цепи (т. е. мономеров в полимере) этого фермента был установлен в основном 20 лет назад путем последовательного отщепления звеньев цепи. (Следует отметить, что, в то время как у многих ферментов молекула представляет собой одиночную полипептидную цепь, химотрипсин состоит из нескольких таких цепей, образующих боковые ответвления и петли. Этот факт был выяснен тоже путем хитроумного демонтажа белковой молекулы.)

Полипептидная цепь причудливо изогнута в пространстве вроде перепутанной пряжи, формируя асимметричную глобулу диаметром 12 Å. «Гребни и борозды на ее поверхности уникальны, как горы и кратеры на Луне». Молекула химотрипсина состоит из 241 аминокислотного остатка, включающих 4000 атомов, каждый из которых занимает определенное положение в пространстве. Только анализ сложной картины рентгеновской дифракции чистых белковых кристаллов позволил получить детальную трехмерную картину молекулы. (Этот метод анализа сыграл решающую роль и в установлении структуры спирали ДНК.) В кристалле все молекулы должны быть одинаковы, иначе дифракционная картина, состоящая из тысяч пятен, отвечающих положению регулярно расположенных атомов, будет нечеткой.

В 1960-е годы был осуществлен замечательный эксперимент, который, словно вспышка молнии, озаряющая все вокруг, прояснил природу специфической формы молекул ферментов. Образец фермента, весьма похожего на «героя» книги — химотрипсин, обрабатывали реагентами, способными разрушить все поперечные шивки и расправить складки в белковой глобуле, не затрагивая основные связи в скелете полипептидной цепи. В результате белок денатурировал: прежде специфически уложенная, цепь перешла в состояние хаотического клубка. При этом полностью утратилась ферментативная активность. Затем денатурировавший белок инкубировали в различных условиях, близких к естественным, в надежде на восстановление нативной структуры. В конце концов хаотический клубок развернулся, и полипептидная цепь сло-

жилась вновь так, что образовалась в прежних деталях исходная трехмерная структура и восстановилась ферментативная активность. «Для этого не нужно никаких внешних факторов или сил». Безошибочная аминокислотная последовательность достаточна для образования всей полноценной структуры, способной выполнять определенную функцию.

Катализатор может повысить вероятность протекания данной реакции, и только — он не уменьшает и не увеличивает количество энергии в системе, так как в процессе своего действия сам он не претерпевает долговременных изменений. Умеренные изменения температуры увеличивают скорость химической реакции в 10—100 раз, а химотрипсин ускоряет расщепление белка-мишени в миллиард раз по сравнению со спонтанным процессом. Ферменты — властелины времени.

Каталитическая специфичность ферментов чрезвычайно высока: один фермент — одна реакция, но никак не много. По молекулярным размерам химотрипсин рядом со своими субстратами — белками, подлежащими расщеплению, — огромен. Фермент контактирует с субстратом только в определенных местах — в активном центре, где и происходит реакция. Путем таких химических уловок, как инактивация, замещение и конкурентное связывание, удалось установить локализацию участков связывания субстрата на поверхности фермента. Спектр специфичности определяется формой и химическими свойствами поверхности, обеспечивающей доступность одних участков полипептидной цепи и экранированность других. Соответствующий субстрату участок напоминает атомные пружинные челюсти, захватывающие расщепляемую связь. Процесс описывается моделью «ключ—замок». Химотрипсин обычно захватывает заряженный конец полипептидной цепи белка-субстрата и как бы разрезает эту тонкую нить. Образовавшиеся части расщепленной молекулы субстрата отделяются, и пружина возвращается в исходное состояние: неизменявшаяся молекула фермента вновь готова к действию.

Фермент, ответственный за ликвидацию одного из нейромедиаторов (химических посредников в передаче нервных импульсов в мозге), родствен химотрипсину. Странным и в чем-то волнующим кажется тот факт, что смертоносные нервные газы действуют путем связывания и деградации этих самых ферментов. Еще более интригует наблюдение, сделанное при изучении болезни Альцгеймера: в

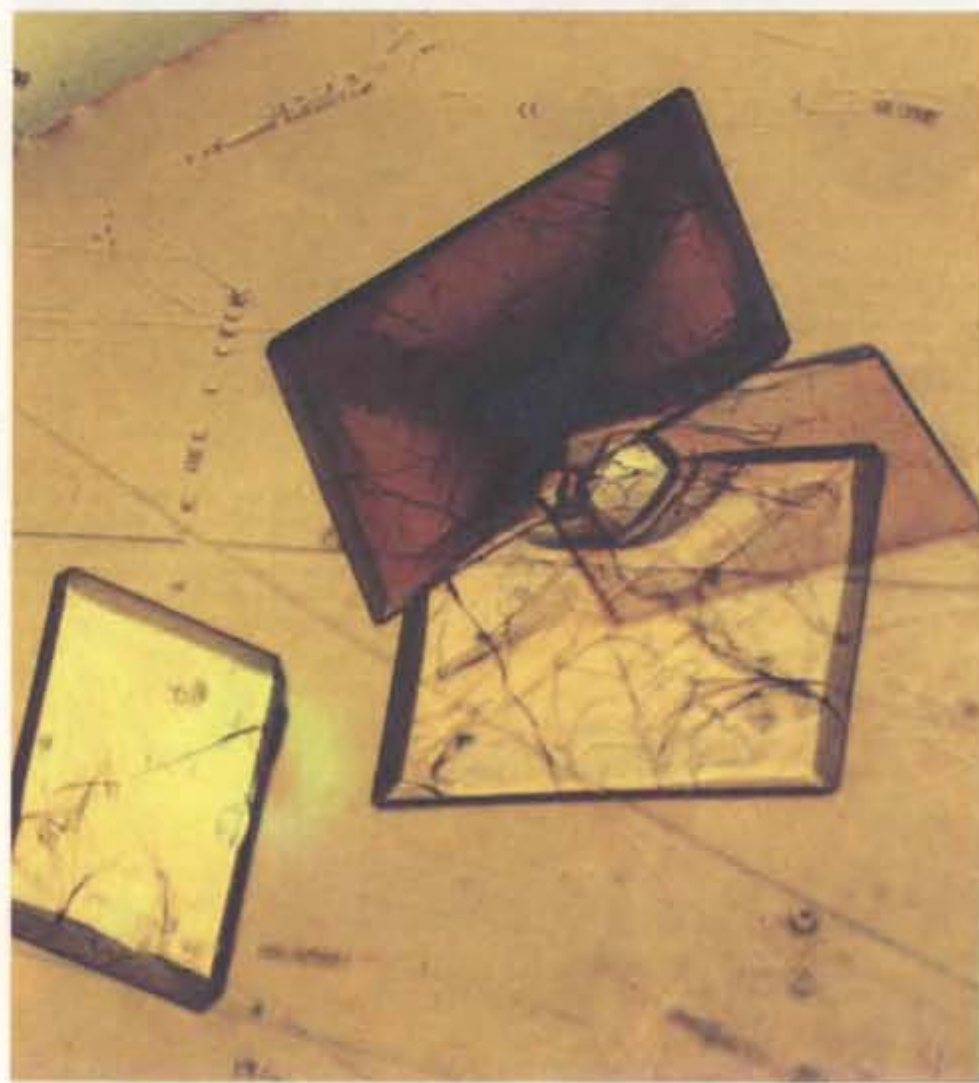
состав мелких коричневатых отложений, образующихся в мозге по мере развития этого заболевания, входят два белка, являющиеся специфическими ингибиторами, которые выводят из строя активный центр у ферментов определенного семейства. Инструменты жизни объединены глубокой геометрической общностью, которая порой по иронии судьбы оборачивается трагедией.

Энциклопедия астрономии и астрофизики. Под редакцией С. Марана THE ASTRONOMY AND ASTROPHYSICS ENCYCLOPEDIA, edited by Stephen P. Maran. Van Nostrand Reinhold (in North America) and Cambridge University Press, 1992 (\$ 89.95).

Этот том, насчитывающий 1002 страницы большого формата, полон волшебных чудес, как сказки тысячи и одной ночи Шехерезады, но изложенные в более строгой форме. Черно-белые иллюстрации, преимущественно компактные графики и диаграммы, занимают примерно 0,1 объема книги. (На суперобложке помещена большая цветная фотография Сатурна с его многочисленными кольцами, снятая широкоугольной орбитальной камерой Космического телескопа «Хаббл».) В книгу включено около 400 статей, написанных еще большим числом авторов. Почти все они — активные исследователи из многих стран всех пяти континентов. Расположенные в алфавитном порядке статьи представляют собой коллективный очерк современного состояния астрономии, большинство из них написано на уровне наиболее обстоятельных статей журнала "Scientific American". Приводится много простых формул (во всем томе едва ли найдется пара интегралов), таблицы и специальных комментариев; такие поясняющие комментарии в журнале "Scientific American" встречаются гораздо реже.

Ряд статей посвящен важным современным направлениям исследований, например, почти 20 страниц занимает статья об активных галактиках и квазизвездных объектах. Она состоит из 9 компактных разделов, каждый из которых посвящен одной актуальной проблеме и написан крупным специалистом в данной области. Рассмотрены такие проблемы, как падение газа, выбросы, мощные движения и рентгеновское излучение в активных галактиках. В заключение прекрасно написанное эссе дает общий взгляд на весь класс этих объектов.

При внимательном чтении книги



КРИСТАЛЛЫ пищеварительного фермента, называемого химотрипсином. Его структура и механизм каталитического действия изучены довольно хорошо по сравнению с другими ферментами.

можно встретить несколько содержательных и в то же время достаточно кратких статей. Например, статья Ф. Шу из Беркли, написанная живым языком, открывается неожиданным напоминанием о том, что не будь в недрах звезд плотных ядерных «топок», во Вселенной существовали бы только молекулы водорода и все вещество находилось бы в газообразном состоянии. Действительно, главное упущение издания — это полное отсутствие объяснения убедительных свидетельств образования ряда химических элементов, особенно тяжелее железа, в ядерных реакциях в недрах звезд.

В разделе «Луна: происхождение и эволюция» Дж. Милош не рассматривает существовавшие ранее представления, что Луна — либо родная сестра, либо супруга, либо дитя Земли. Теперь принято считать, что наш спутник образовался в результате скользящего соударения тела размерами с Марс и новорожденной Земли. Луна образовалась из внешней мантии обоих объектов, но она позаимствовала очень мало материала из центральных областей, и его не хватило на образование железного ядра. На удивительном рисунке, сделанном недавно Дж. Уитбро (который теперь работает в НАСА), показан диск Солнца, «ошестинившийся» магнитными силовыми линиями, увлекаемыми солнечным ветром; пятнистая поверхность вывлекается на помещенной рядом фотографии солнечной короны в рентгеновских лучах. А. Фэрролл расширил горизонт наблюдаемой Вселенной еще на один заметный шаг. На его картах обозначены ближайшие к нашей Галактике сверхскопления, а на последующих дана предварительная картина распределения сверхскоплений, находящихся в несколько раз дальше тех, которые более известны.

Из этих разделов, подобных изданиям трудов симпозиумов, и множества отдельных статей состоит книга. Конечно, в ней неизбежны некоторые потери качества изложения; возможно, также, что объем вводного материала меньше оптимального. Но смысл объединения компетентности и своевременности беспрецедентен. Читатель как бы сам находится среди астрономов, беседующих о современной астрономии на уровне, доступном всем присутствующим, которые внимательно слушают.

Среди авторов немало именитых, но 400 из них — это сообщество молодых и талантливых как мужчин, так и женщин, в руках которых — научные данные и теории. (Это не значит, что можно пренебречь существенной долей материалов, выдающихся, более

старших авторов.) Эта книга не для новичков и не для тех, кого привлекает передний край науки. Эта краткая энциклопедия представляет большой интерес и для увлеченных любителей,

Наука и общество

Как избавиться от жуков

ПОСКОЛЬКУ насекомым свойственна умопомрачительная способность вырабатывать устойчивость к пестицидам — иногда всего за несколько лет, — неофициальным девизом пестицидной промышленности вполне можно считать: «Используй и выбрось». Сейчас биотехнологическое производство и экоактивисты из всех сил стараются обойти в своеобразной гонке вооружений вредителей, которые угрожают приспособиться к важной группе инсектицидов, основанных на бактериальных токсинах *Bacillus thuringiensis* (Bt). «Мы не хотим, чтобы Bt стали кратковременным успехом, о котором через пять лет уже забудут, чтобы они принесли кому-то доход, а нас заставили искать новые продукты», — говорит Ф. Гулд из Университета шт. Северная Каролина.

Начиная по крайней мере с 1950-х годов некоторые фермеры обрабатывали спорами *Bacillus thuringiensis* свои поля, стремясь уберечь их от насекомых-вредителей. В отличие от химических инсектицидов широкого спектра действия различные токсины этих спор избирательно смертоносны для жуков, мух и бабочек, в числе которых самые распространенные сельскохозяйственные вредители. Для прочих насекомых, а также других животных и человека эти токсины безвредны, что делает их идеальным по безопасности и минимальному воздействию на среду пестицидом. Однако у Bt есть и недостаток. Применять это средство нужно гораздо чаще, чем химикаты, что заметно повышает расходы. «После обработки половина дозы теряется за полтора дня», — поясняет Гулд.

В результате на Bt и другие биопестициды, по существующим оценкам, приходится менее 1% рынка сельскохозяйственных инсектицидов. В биотехнологической промышленности разрабатываются все новые, более стойкие или содержащие большие количества токсинов препараты. Пестициды на основе Bt сейчас выпускаются многими компаниями, включая Abbott, EntoTech (отделение Novo Nordisk) и Mycogen.

Однако чем эффективнее становят-

ся Bt-продукты, тем сильнее давление отбора на насекомых, приводящее к развитию у них устойчивости. В середине 1980-х годов лабораторные испытания начали показывать, что, например, у колорадского жука и совок *Heliothis virescens* есть генетический потенциал для развития в определенных условиях невосприимчивости к Bt.

Проблема вышла за чисто академические рамки, когда Б. Табашник из Гавайского университета в Мааноа и его коллеги обнаружили, что популяция капустной моли, вредящая плантациям полевой горчицы на Гавайях, с 1986 по 1989 г. удвоила свою устойчивость к Bt. «По иронии судьбы, тамошний фермер использовал большие количества Bt именно из-за озабоченности экологическими проблемами», — говорит Табашник.

Эта гавайская популяция моли и другая группа вредителей во Флориде — пока единственные четко документированные случаи развития устойчивости к Bt в природе, но, по мнению наблюдателей, отнюдь не последние. «Проблема в том, что, если биотехнологическая промышленность делает шаг вперед, выпуская новые продукты, мы очень быстро сталкиваемся с отбором насекомых на устойчивость к ним», — предупреждает Э. Браггеман из Национального олюбоновского общества в Вашингтоне. «В такой ситуации единственное, что остается фермерам, — это вернуться к применению химических инсектицидов».

Один из простых подходов к сохранению эффективности Bt заключается в варьировании микробных смесей, которыми обрабатываются поля. Различные штаммы *Bacillus thuringiensis* вырабатывают неодинаковые сочетания токсинов, и насекомые, устойчивые к одному из них, могут оставаться чувствительными к другим. Однако Табашник отмечает, что, по-видимому, взаимозаменяемых токсинов относительно мало, хотя и существуют тысячи различных штаммов.

Многие последние работы посвящены введению генов токсинов Bt в растения или в их симбиотические бактерии. Такие трансгенные культуры могли бы сами вырабатывать и

накапливать токсины. Вероятно, первым трансгенным растением с генами Bt будет хлопок, который фирма Monsanto планирует внедрить в ближайшие пять лет; вскоре за ним последуют картофель и другие виды.

Схема, учитывающая давление отбора, создаваемое трансгенными растениями, предусматривает обеспечение пищей чувствительных к Bt насекомых путем выращивания среди трансгенных экземпляров и некоторого количества обычных. Чувствительные насекомые смогут питаться ими, одновременно скрещиваясь со своими более устойчивыми сородичами. Если устойчивость к Bt является рецессивным генетическим признаком, на что, по словам Табашника, указывают некоторые предварительные данные, то большая часть потомства от таких скрещиваний в первом поколении будет восприимчива к Bt. Возможная трудность здесь в том, что, как считает Браггеман, вряд ли можно рассчитывать на желание фермеров пожертвовать насекомым ощутимую часть урожая.

Более экзотический подход — изменение экспрессии генов Bt в трансгенных растениях. Тогда эти гены могли бы функционировать только в определенных тканях во время критических периодов развития растения или в ответ на применяемые фермерами химические индукторы. Как поясняет Гулд, регулируя таким образом присутствие токсинов Bt, удалось бы ослабить давление отбора в сторону выработки у насекомых устойчивости к ним. Д. Фишхофф из фирмы Monsanto отмечает, однако, что генетика культурных растений слишком плохо изучена для практического внедрения этого метода по крайней мере в ближайшие десять лет. Так что первая волна трансгенных культур будет производить токсины Bt непрерывно, а это, как опасается Браггеман, может повысить риск выработки у насекомых устойчивости.

Ответственность за контроль пестицидной устойчивости вредителей в конечном счете остается на фермерах, которые должны решать, использовать ли Bt-продукты, а если да, то как. Гулд полагает, что министерство сельского хозяйства США могло бы сыграть здесь стимулирующую роль, создав программы, увязывающие предоставление помощи хозяйствам с осторожным применением в них Bt; впрочем, такое предложение наверняка вызовет споры.

По мнению Гулда, главное, что нужно сейчас фермерам, исследователям и промышленникам, — это больше информации о последствиях и эффективности различных подходов по



ТРАНСГЕННЫЙ ХЛОПОК (слева) защищают от вредителей бактериальные гены, кодирующие инсектициды. Обычные же растения (справа) становятся их жертвой. (Фотография: Monsanto).

отдельности и в сочетании друг с другом. Он приветствует изучение обработки Bt как одного из компонентов комплексной борьбы с вредителями, в которой используются как пестициды, так и естественные враги насекомых. «Не нужно убивать каждую букашку», — отмечает Гулд. В самом деле, некоторые из них становятся вредителями, только когда их численность превышает определенный пороговый уровень.

Дальнейшее изучение взаимодействия насекомых, их естественных врагов и культурных растений должно показать, насколько эффективно применение Bt, когда выработка устойчивости к ним задерживается. По-видимому, экологическое равновесие сохраняет эффективность природных токсинов на протяжении миллионов лет. Вероятно, это единственный способ обеспечить их долговременное использование в сельском хозяйстве.

Джон Ренни

Индивидуальны ли «отпечатки пальцев» ДНК?

НАЧИНАЯ с 1988 г. «отпечатки пальцев» ДНК принимались в качестве доказательства в более чем 2 тыс. судебных дел в США. Этот метод, широко применяющийся Федеральным бюро расследований (ФБР), а также частными фирмами, сыграл решающую роль в делах о похищении детей, изнасилованиях и убийствах. Однако некоторые специалисты в области популяционной генетики ставят под сомнение точность идентификации личности по ДНК. Развернувшаяся полемика привела к обвинению ФБР в том, что оно «затыкает рты» критикам данного метода.

Аргументы «вырвались на поверхность» с публикацией в журнале "Science" статьи Ричарда Луонтина из Гарвардского университета и Даниэла Хартла из Вашингтонского университета, которые обстоятельно объяснили в ней, каким образом различия внутри популяции делают несостоятельными посылки, положенные в основу расчетов. Их сомнения в надежности метода, вероятно, вскоре подтвердятся отчетом комитета Национальной Академии Наук США о применении в криминалистике метода идентификации личности по ДНК.

Рассматриваемый метод включает анализ ДНК-проб для ряда копий определенных критических фрагментов, индивидуальных для каждого человека. Если число копий нескольких таких последовательностей (своего рода «отпечаток пальца») в ДНК подозреваемого соответствует копиям в пробе, взятой с места преступления, производится несложный расчет с целью определения вероятности случайного совпадения. Часто такое совпадение оказывается практически невероятным: в одном из примеров, приведенных Луонтином и Хартлом, эта цифра составила один случай на 738 квадрильонов.

В своей статье Луонтин и Хартл утверждают, что подобные расчеты основаны на ложных допущениях, которые могут исказить результаты на 2 и более порядков величины. Они заявляют, что существующая методика расчетов вероятности случайного совпадения не в состоянии должным образом учесть эффекты, обусловленные этническими и расовыми вариациями. Невинный подозреваемый, обладающий расовыми или этническими признаками, аналогичными признакам предполагаемого преступника, может иметь более высокую вероят-

ность соответствия пробе, взятой с места преступления, и быть невинно осужденным. В статье предлагается методика, которая могла бы свести к минимуму возможность ложного соответствия.

По словам Джона Хикса, возглавляющего криминалистическую лабораторию ФБР, еще до выхода своей статьи в "Science" Луонтина и Хартл давали показания в качестве экспертов по нескольким судебным делам, и их критика расчетов, основанных на идентификации личности по ДНК, широко циркулировала в адвокатских кругах. Их отчеты привели к тому, что в ряде последних судебных дел были отклонены выдвинутые ФБР доказательства, основанные на методе «отпечатков пальцев» ДНК.

Среди них было совместное слушание по доказательствам по методу идентификации личности по ДНК для 15 различных дел по округу Колумбия. Как и в большинстве судопроизводств, научные доказательства в этом округе сначала должны проверяться на предварительном слушании и должны быть признаны экспертами до того, как будут приняты официально. Один из судей округа Колумбия указал, что лежащие в основе доказательств генетические теории не признаются повсеместно. (В отличие от него Апелляционный суд США второго округа в Манхэттене принял доказательство по «отпечаткам пальцев» ДНК, однако этот суд применяет менее строгие критерии.)

Не удивительно, что статью Луонтина и Хартла особенно критиковали те, кто предложил идентификацию личности по «отпечаткам пальцев» ДНК. Были также попытки убедить Луонтина и Хартла не публиковать свою статью. Помощник генерального прокурора США в Кливленде (шт. Огайо) Джеймс Вули позвонил Хартлу и сказал ему, что публикация может быть неправильно воспринята и повредит судебным расследованиям.

Затем статья, уцелевшая после столь критического разбора, была задержана на несколько недель в "Science" на стадии гранок, когда редактор-рецензент Томас Каски из Медицинского колледжа Бэйлора выразил недовольство по этому поводу. Каски был членом комитета Национальной Академии Наук, занимающегося применением в криминалистике метода идентификации личности по ДНК. Даниел Кошланд, редактор "Science", опубликовал в том же номере от 20 декабря 1991 г. статью-опровержение Ранаджита Чакраборти из Техасского университета в Хьюстоне и Кеннеди Кидда из Йельского университета.

В этой статье делался вывод о том,

что существующая методика расчета вероятности совпадения в смешанной популяции, которая исходит из банков данных по частотам повторяемости генов для различных рас, не приведет к значительной ошибке. Авторы статьи пишут, что необходимы как раз данные по общей частоте во всей популяции в целом. Чакраборти сказал, что, оказавшись он под судом, для него не имело бы значения, встречаются ли отклонения от соответствия один раз на 8 млн. или на 40 млн. случаев.

Адвокаты находят такую линию рассуждений неприемлемой. И Хартл, который вместе с Луонтином планирует опубликовать ответ Чакраборти и Кидду, утверждает, что последние защищают неверную точку зрения. «Мы не говорим о средних цифрах, — сказал Хартли. — Мы говорим о возможности того, что на свете существует еще кто-то (кроме самого преступника), кто обладает соответствием числу копий в пробе, взятой с места преступления».

Спустя день после опубликования статьи Хартла Каски отказался от своего членства в комитете Национальной Академии Наук по применению метода ДНК в криминалистике. Один из членов комитета заявил, что комитет озабочен возможным возникновением конфликтной ситуации. Каски имеет значительный финансовый интерес в методике идентификации личности по ДНК, которую он разработал, и его лаборатория получила от Национального института права субсидию на 200 тыс. долл. Институт, как и ФБР, подчинен министерству юстиции.

ФБР было одним из инициаторов составления академического отчета, однако руководители академии были тем не менее удивлены, когда Хикс послал длинный критический отзыв на «рассеченную» таким образом главу из отчета сотруднику академии Джону Баррису. «Мы были весьма обеспокоены тем, что там не все было представлено в истинном свете», — заявил Хикс.

Хикс сообщил, что получил проект главы из отчета от двух членов комитета. Академия, которая просит членов комитетов не разглашать содержание проекта отчета, отказалась передать послание Хикса в комитет в интересах сохранения беспристрастности. Академический отчет, составленный в течение двух лет, еще может дополнить дискуссию весьма необходимыми для нее объективными данными.

Тим Бердсли

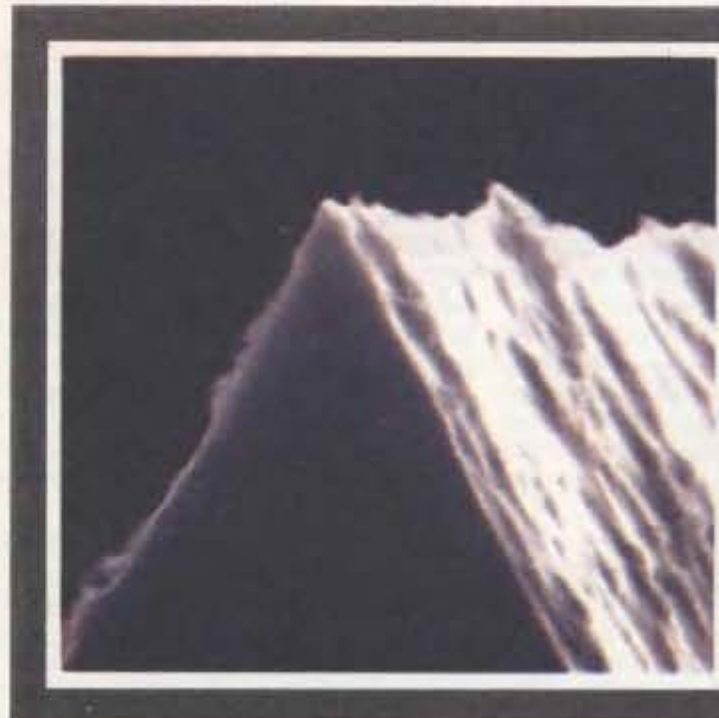
Дырявый кремний

КРЕМНИЕВЫЕ кристаллы, которые способны надежно и с высокой эффективностью излучать свет при электрическом (а не оптическом) возбуждении, могут, по крайней мере теоретически, положить начало новому поколению срабатывающих со скоростью света переключателей и других компонентов для систем связи и вычислительной техники, воплотив в себе достижения оптики и электроники. Хотя свадебные марши в честь такого объединения достижений в двух областях еще не звучат, уверенность в том, что так называемый пористый кремний станет популярным не только в качестве темы для одной-двух конференций, постепенно нарастает. «Я полон осторожного оптимизма», говорит Р. Коллинс, руководитель научного отдела в Исследовательском центре имени Томаса Дж. Уотсона фирмы IBM.

О светоизлучающем кремнии немало говорилось на симпозиуме Общества по исследованию материалов (MRS), состоявшемся в прошлом году, когда Л. Канхем с сотрудниками из Управления по научным исследованиям в области обороны в Грейт-Малверне (Великобритания) объявили, что кристаллы кремния, превращенные вытравливанием в ванне с фтористоводородной (плавиковой) кислотой в веретенообразные структуры шириной несколько десятков ангстрем, светятся различными цветами при оптическом возбуждении. Доклад на эту тему вызвал гораздо больше вопросов, чем было дано ответов. Британские ученые заявили также, что они добились электролюминесценции кристаллов, т.е. их свечения при возбуждении электрическим током, но представили очень мало доказательств этого факта. А в ответ на вопрос о том, почему же кремний может светиться, они только предлагали разные теории.

В последние несколько месяцев многие другие исследовательские коллективы занялись изучением этой проблемы. Так, на последней конференции MRS, состоявшейся в декабре прошлого года, ученые из Института технологии твердого тела в Мюнхене и Токийского университета сельского хозяйства и технологии представили доказательства факта электролюминесценции. В то же время ученые фирм IBM и корпорации Spire Corporation в Белфорде (шт. Массачусетс, США) описали процесс создания кремниевых устройств, которые работают как светоизлучающие диоды.

Создание таких устройств является



НЕОБЫЧНЫЕ светоизлучающие полупроводниковые приборы получены учеными из Исследовательского института Триэнгл, которые вытравили «квантовые проволоочки» на кристалле германия (слева). Пористый кремний, полученный учеными корпорации Spire, также светится при

возбуждении ультрафиолетовым светом (вверху справа). Чтобы получить свечение от кремния при электрическом возбуждении, исследователи создали диодную структуру (внизу справа). Видимый свет выходит из пористого кремния через прозрачные контакты из оксида индия—олова.

весьма непростым делом, поскольку ученые должны создать многослойные структуры из положительно и отрицательно заряженных слоев кремния и пористого кремния и затем подвести к ним электрические контакты, не разрушая материал. «Множество людей пытались создать электролюминесцирующий кремний, но натолкнулись при этом на непреодолимые проблемы», — отвечает Коллинс.

В развитие своих работ в области фотогальванических элементов, ученые корпорации Spire добавили на верхнюю часть пористого кремния отрицательно заряженный слой оксида индия-олова (ОИО). Этот оксид прозрачен для видимого света. После подачи на эти приборы напряжения ученые видели оранжевый свет, выходящий с верхней части приборов, как утверждает Ф. Намавар, один из ведущих ученых в Spire. Исследователи фирмы IBM создали более традиционную диодную структуру, в которой свет излучается с торца прибора. Они окружили пористый кремний слоями отрицательно и положительно заряженного обычного кремния и затем протравили его до пористого материала.

С точки зрения практического использования кремний не только должен превращать электрический ток в свет, но и делать это эффективно. До настоящего времени никто из ученых

не желает обсуждать достигнутых ими эффективностей. Например, на материал, изготовленный Намаваром, для получения видимого света требуется подать напряжение около 10 В. Намавар надеется, что улучшение контактов позволит уменьшить требуемое напряжение до 2 В.

Помимо экспериментальных исследований ученые заняты созданием теории, которая могла бы объяснить необычное поведение пористого кремния. Одна школа, возглавляемая Канхемом, предполагает, что пористый кремний состоит из «квантовых проволоочек», структур, в которых движение электронов ограничено по одному направлению, что приводит к усилению рекомбинации электронов и положительных зарядов. В результате процесса рекомбинации излучается свет. Однако ученые из Института физики твердого тела Общества им. Макса Планка в Штутгарте приписывают фотолюминесценцию силосину, т.е. кремниевым полимерам, которые остаются на поверхности кремниевых кристаллов после химической обработки. Давно известно, что силосин может проявлять многие свойства, наблюдаемые сейчас в пористом кремнии.

Р. Венкатасубраманиан и его коллеги из Исследовательского института Триэнгл в Северной Каролине решили изучить эту проблему с другой стороны. «Я подумал, что если этот

эффект существует в кремнии, то его можно обнаружить и в других полупроводниках», — вспоминает он. Для проверки этой идеи ученый использовал фотолитографию, очень точную технологию, с помощью которой он вытравил квантовые проволоки на германиевом кристалле.

На международной конференции по электронным приборам, также состоявшейся в декабре прошлого года, ученые из института Триэнгл сообщили, что германий светится красным цветом при оптическом возбуждении. Однако даже эти результаты не указывают однозначно на наличие квантового эффекта. «В наших приборах имеется фтор, который может приводить к люминесценции», — говорит Венкатасубраманиан.

Не менее интересен вопрос о том, почему современные технологии фотолитографического травления не создают светоизлучающего кремния, в то время как менее поддающийся управлению процесс травления плавиковой кислотой дает результаты. Венкатасубраманиан убежден, что объяснение связано с различием электронных структур (ширины запрещенной зоны) у кремния и германия. Все же он надеется, что если ему удастся добиться свечения германия при возбуждении электрическим током, то эта работа укажет на пути достижения аналогичных результатов в кристаллах кремния.

Однако хотя оптически возбужденный кремний излучает свет в широком диапазоне длин волн (различные цвета), то в электрически возбужденном кремнии до сих пор был получен менее ограниченный диапазон излучаемых длин волн. Например, Кенхэм заявил, что он и его сотрудники получили в экспериментах по электролюминесценции красный и желто-оранжевый цвета свечения, но не смогли получить зеленого цвета. Однако Намавар указывает, что для изготовления экранов монохромных дисплеев достаточно и одного цвета. «Если

удастся получить эффективное излучение от кремния на одной длине волны, то переход к другим цветам будет не очень сложной проблемой», — добавляет Коллинс.

Все ученые, занимающиеся проблемой пористого кремния, охвачены волной энтузиазма и надежд на новые открытия. «На этот раз мы стараемся проявлять больше скромности и расчетливости в наших ожиданиях», — заявил Намавар. По прогнозам ученых в ближайшее время загадка пористого кремния все же будет решена.

Эссе

Женщины и СПИД



КЕННЕТ Х. МЕЙЕР, ЧАРЛЗ К. ДЖ. КАРПЕНТЕР

ХОТЯ большинство американцев, у которых обнаружен СПИД или вызывающий его вирус, составляют мужчины, эта эпидемия быстро распространяется и среди женщин. По сообщениям из нескольких крупных городских больниц в штатах Нью-Йорк и Флорида, более 5% беременных женщин заражены вирусом иммунодефицита человека (HIV — от англ. human immunodeficiency virus). Анализ состава пациентов, поступивших недавно в больницы Армии Иова и военные госпитали, показывают, что среди носителей HIV мужчин и женщин примерно равное число. Во всем мире из более 10 млн зараженных этим вирусом на женщин приходится около трети, а в США, где заражены 1 млн человек, — одна восьмая (в некоторых штатах это соотношение приближается к общемировому).

Как и в случае некоторых других передающихся половым путем заболеваний, женщины легче заражаются HIV от сексуального партнера, чем иным способом. Их биологическая восприимчивость часто сочетается с отсутствием предосторожностей относительно партнера, т. е. с недопониманием риска, которому сами они подвергаются. В результате женщины реже, чем мужчины, узнают о своей зараженности до появления явных симптомов СПИДа. Даже когда эти симптомы налицо, врачи нередко медлят с диагнозом инфекции HIV.

Зараженные HIV женщины чаще, чем мужчины, относятся к бедным слоям общества. В связи с этим им менее доступно продлевающее жизнь лечение, например профилактика пневмонии, вызываемой *Pneumocystis carinii*, и антиретровирусные препараты.

Эти биологические и социальные факторы привели к значительному занижению статистических данных о зараженности женщин в клинических исследованиях, касающихся инфекции HIV. Наиболее существенным среди таких факторов, вероятно, является бедность. Многие женщины с инфекцией HIV — матери-одиночки, отрицательно относящиеся к системе здравоохранения, которая часто не учитывает их специфические интересы, включая заботу о детях, транспортные расходы и другое обслуживание.

Как показал ряд исследований, цветные женщины с инфекцией HIV при явных медицинских показаниях к лечению зидовудином (прежнее название этого лекарства — азидотимидин, сокращенно AZT) или профилактике пневмонии следуют им гораздо реже, чем активные гомосексуалы-мужчины. Специалисты по HIV почти не проводили широкомасштабных обследований женщин, хотя в США более 100 тыс. их заражены этим вирусом.

Сейчас известно, что существуют региональные различия в клинических

признаках развитого иммунодефицита, обусловленного инфекцией HIV; они зависят от местного спектра патогенов, вызывающих оппортунистические (т. е. не опасные для здорового человека, но процветающие при иммунодефиците) инфекции, а также от питания и наличия факторов, подавляющих иммунную систему. Однако половые различия еще не вполне ясны. Более того, многие программы по СПИДу, как федеральные, так и действующие в отдельных штатах, основаны на диагностике заболевания по критериям, установленным в те времена, когда о естественном развитии инфекции HIV у женщин было известно очень мало.

Тем не менее в ряде исследований начинают вырисовываться женские особенности течения СПИДа. В шт. Род-Айленд отмечено, что возвратная влагалищная инфекция *Candida albicans* была первым клиническим признаком СПИДа более чем у трети из 200 женщин. Исследования, проведенные в Бруклинском медицинском центре (Нью-Йорк), выявили опухоли шейки матки во многих случаях одновременной инфекции HIV и вирусами папилломы человека (HPV — от англ. human papillomaviruses). Среди женщин с HIV также повышена частота непроходящих или периодически появляющихся бородавок на половых органах (типа остроконечной кондиломы; вызываются некоторыми штаммами HPV).

Онкогенные взаимодействия между HIV и HPV требуют тщательного изучения. То же можно сказать о воспалительных заболеваниях тазовой области. Неизвестно, в большей ли степени подвержены им женщины с инфекцией HIV, а если да, то восприимчивы ли они к обычным методам лечения этих заболеваний. Настоятельно необходимо распознавать специфические для женщин симптомы СПИДа, в противном случае задерживаются диагностика иммунного статуса и соответственно назначение адекватного лечения.

ДАЖЕ после появления симптомов характерно связанных с инфекцией HIV заболеваний, служивших общепринятым критерием для диагностики СПИДа, женщина может столкнуться с препятствиями, не позволяющими ей использовать перспективные экспериментальные методы лечения. Протоколы таких экспериментов часто включают традиционную проверку на беременность, и проведение их не допускается, если женщина ждет ребенка. В результате пациентки иногда вынуждены выбирать между беременностью и повы-

шенным риском смерти. Нередко личные убеждения не позволяют женщине делать аборт. По данным идущего сейчас исследования гетеросексуального распространения HIV на юго-востоке Новой Англии, около 30% зараженных женщин предпочитают беременность.

Решение конфликта между потребностями в продолжении рода и лечении в пользу первого, возможно, относится к пережиткам патриархата. Действительно, лишь немногие экспериментальные медицинские программы предусматривают ответственность находящихся под наблюдением мужчин за осеменение ими в этот период жизни. Влияние на сперму лекарств обычно не учитывается. Исключение беременных женщин из медицинских опытов связано со строгими профессиональными ограничениями, предусматривающими ответственность за вызванные медикаментами врожденные дефекты. Ситуацию еще более усложняет то, что сейчас исследуется способность ряда лекарств, включая зидовудин, препятствовать передаче HIV от ма-

тери к плоду.

Сегодня все более очевидна необходимость углубления знаний о специфически связанных с HIV болезнях у женщин, и исследователи стараются учитывать интересы «слабого пола» в программах испытания лекарств и оказания медицинской помощи. Однако для устранения неравенства в положении мужчин и женщин с инфекцией HIV надо сделать еще очень много. В некоторых районах Африки «гетеросексуальную» эпидемию СПИДа называют «бабкиной болезнью», поскольку именно на старшее поколение возлагается ответственность за увеличение числа детей, родившихся от матерей, впоследствии умерших от этого заболевания. Так как демографическая картина распространения СПИДа в США все больше приближается к тому, что наблюдается в Африке, следует как можно быстрее извлечь уроки из африканского опыта, чтобы чутко и упреждающе реагировать на эпидемию, сводя к минимуму социальные и медицинские потери, вызываемые этим смертельным вирусом.

Библиография

ПОЛЬША НА ПУТИ К РЫНОЧНОЙ ЭКОНОМИКЕ

GREATING A MARKET ECONOMY IN EASTERN EUROPE: THE CASE OF POLAND. David Lipton and Jeffrey Sachs in *Brookings Papers on Economic Activity*, No. 1, pages 75—147; 1990.

THE ROAD TO A FREE ECONOMY: SHIFTING FROM A SOCIALIST SYSTEM: THE EXAMPLE OF HUNGARY. Janos Kornai. W. W. Norton & Company, 1990.

ACCELERATING PRIVATIZATION IN EASTERN EUROPE: THE CASE OF POLAND. Jeffrey Sachs. Washington, D. C., World Bank Annual Conference on Development Economics, 1992.

STRUCTURAL ADJUSTMENT AND INTERNATIONAL TRADE IN EASTERN EUROPE: THE CASE OF POLAND. A. Berg and J. Sachs in *Economic Policy* (в печати).

МЕТОД ПЭТЧ-КЛАМП

IMPROVED PATCH-CLAMP TECHNIQUES FOR HIGH-RESOLUTION CURRENT RECORDING FROM CELLS AND CELL-FREE MEMBRANE PATCHES. O.P. Hamill, A. Marty, E. Neher, B. Sakmann, F.J. Sig-

worth in *Pflügers Archiv: European Journal of Physiology*, Vol. 391, No. 2, pages 85—100; August 1981.

THE PATCH-CLAMP TECHNIQUE IN THE STUDY OF SECRETION. Reinhold Penner and Ervin Neher in *Trends in Neurosciences*, Vol. 12, No. 4, pages 159—163; April 1989.

A THIN SLICE PREPARATION FOR PATCH CLAMP RECORDINGS FROM NEURONES OF THE MAMMILLAN CENTRAL NERVOUS SYSTEM. F. A. Edwards, A. Konnerth, B. Sakmann, T. Takahashi in *Pflügers Archiv: European Journal of Physiology*, Vol. 414, No. 5, pages 600—612; September (1) 1989.

THE STRUCTURE OF ION CHANNELS IN MEMBRANES OF EXCITABLE CELLS. Nigel Unwin in *Neuron*, Vol. 3, No 6, pages 665—676; December 1989.

STRUCTURE-FUNCTION STUDIES OF VOLTAGE-GATED ION CHANNELS. W. Stühmer in *Annual Review of Biophysics and Biophysical Chemistry*, Vol. 20, pages 65—78; 1991.

ТЕКСТУРЫ И СТРОЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ

THE EARLY UNIVERSE. Edward Kolb and Michael Turner. Addison-Wesley Publishing, 1990.

THE CASE FOR THE RELATIVISTIC HOT BIG BANG COSMOLOGY. P.J.E. Peebles, D. N. Schramm, E. L. Turner and R. G. Kron in *Nature*, Vol. 352, No. 6338, pages 769—776; August 29, 1991.

GLOBAL TEXTURE AS THE ORIGIN OF COSMIC STRUCTURE. Neil Turok in *Proceedings of Nobel Symposium No. 79: The Birth and Early Evolution Our Universe*. Edited by J. S. Nilsson, B. Gustafsson and B.—S. Skagerstam. World Scientific/Physica Scripta, 1991.

A HYDRODYNAMIC APPROACH TO COSMOLOGY: TEXTURE-SEEDED CDM AND HDM COSMOLOGIES. R. Y. Cen, J. P. Ostriker, D. N. Spergel and N. Turok in *Astrophysical Journal*, Vol. 383, No.1, pages 1-18; December 10, 1991.

ПОЧЕМУ УСТОЙЧИВЫ АРОМАТИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ?

A NEW DEFINITION OF DEWAR-TYPE RESONANCE ENERGIES. J. Aihara in *Journal of the American Chemical Society*, Vol. 98, No. 10, pages 2750—2758; May 12, 1976.

GRAPH THEORY AND MOLECULAR ORBITALS. Part 19: NONPARAMETRIC RESONANCE ENERGIES OF ARBITRARY CONJUGATED SYSTEMS. I. Gutman, M. Milun and N. Trinajstić in *Journal of the American Chemical Society*, Vol. 99, No. 6, pages 1692—1704; March 16, 1977.

UNIFIED THEORY OF AROMATICITY AND LONDON DIAMAGNETISM. J. Aihara in *Journal of the American Chemical Society*, Vol. 103, No. 19, pages 5704—5706; September 23, 1981.

AROMATICITY AND DIATROPICITY. J. Aihara in *Pure and Applied Chemistry*, Vol. 54, No. 5, pages 1115—1128; May 1982.

CEMICAL GRAPH THEORY. Vol. 2. N. Trinajstić. CRC Press, 1983.

SPHERICAL AROMATICITY OF BUCKMINSTERFULLERENE. J. Aihara and H. Hosoya in *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, Vol. 61, No. 7, pages 2657—2659; July 1988.

ПАУЧЬИ СЕТИ И ШЕЛК

SPIDERS: WEBS, BEHAVIOR AND EVOLUTION. Edited by William A. Shear. Stanford University Press, 1986.

THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF SPIDER SILK. John M. Gosline, M. Edwin Demont and Mark W. Denny in *Endeavour*, New Series, Vol. 10, pages 37—43; January 1986.

MODULATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF SPIDER SILK BY COATING WITH WATER. Fritz Vollrath and Donald T. Edmonds in *Nature*, Vol. 340, No.

6231, pages 305—307; July 27, 1989.

GLYCOPROTEIN GLUE INSIDE THE SPIDER WEB'S AQUEOUS COAT. F. Vollrath and E. Tillinghast in *Naturwissenschaften*, Vol. 78, pages 557—559; December 1991.

ИНФРАКРАСНЫЕ ВИДЕОКАМЕРЫ

SILICIDE INFRARED CAMERA TECHNOLOGY. F. D. Shepherd, Jr., in *Proceedings of SPIE: Advanced Infrared Sensor Technology*, Vol. 395, pages 114—118; April 18—19, 1983.

THE THEORY OF HOT-ELECTRON PHOTOEMISSION IN SCHOTTKY-BARRIER IR DETECTORS. J. M. Mooney and J. Silverman in *IEEE Transactions on Electron Devices*, Vol. ED-32, No. 1, pages 33—39; January 1985.

PTSi INTERNAL PHOTOEMISSION: THEORY AND EXPERIMENT. J. M. Mooney, J. Silverman and M. M. Weeks in *Proceedings of SPIE: Infrared Sensors and Sensors Fusion*, Vol. 782, pages 99—107; May 19—21, 1987.

SILICIDE INFRARED STARING SENSORS. F. D. Shepherd in *Proceedings of SPIE: Infrared Detectors and Arrays*, Vol. 930, pages 2—10; April 6—7, 1988.

DISPLAY OF WIDE DYNAMIC RANGE INFRARED IMAGES FROM PTSi SCHOTTKY BARRIER CAMERAS. J. Silverman, J. M. Mooney and V. E. Vickers in *Optical Engineering*, Vol. 29, No. 2, pages 97—104; February 1990.

КОТЕЛ ИЗ ГУНДЕСТРУПА

AN ARCHAEOLOGY OF YOGA. Thomas McEvilley in *Res*, Vol. 1, pages 44—77; Spring 1981.

SEM-IDENTIFICATION AND DOCUMENTATION OF TOOL MARKS AND SURFACE TEXTURES ON THE GUNDESTRUP CAULDRON. Erling Benner Larsen in *Recent Advances in the Conservation and Analysis of Artifacts*. Compiled by James Black. University of London Institute of Archaeology, Summer Schools Press, 1987.

THE ORIGIN OF THE GUNDESTRUP CAULDRON. Anders Bergquist and Timothy Taylor in *Antiquity*, Vol. 61, pages 10—24; March 1987.

GUNDESTRUPKEDELEN: BAGGRUND OG BILLEDVERDEN. Fleming Kaul. Nyt Nordisk Forlag Arnold Busck, 1991.

В ПОИСКАХ ВОЛИН

A JOURNEY INTO GRAVITY AND SPACETIME. John Archibald Wheeler. Distributed by W. H. Freeman and Company. Scientific American Library, 1990.

THE DETECTION OF GRAVITATIONAL WAVES. Edited by David G. Blair. Cambridge University Press, 1991.

THE U. S. LASER INTERFEROMETER GRAVITATIONAL-WAVE OBSERVATORY (LIGO) PROJECT. Rochus E. Vogt in *Proceedings of the Sixth Marcel Grossmann Meeting on General Relativity*. Kyoto, Japan, June 1991, LIGO 91—7; September 1991.

НАУКА ВОКРУГ НАС

OPTICS AND OPTICAL INSTRUMENTS: AN INTRODUCTION WITH SPECIAL REFERENCE TO PRACTICAL APPLICATIONS. B. K. Johnson. Dover Publications, 1960.

BASIC OPTICS AND OPTICAL INSTRUMENTS. U. S. Navy Bureau of Naval Personnel. Dover Publications, 1969.

В МИРЕ НАУКИ

Учредитель:
ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»
Издание
зарегистрировано
в Госкомпечати СССР,
рег. № 1342

Подписано в печать 06.07.92.

По оригинал-макету. Формат 60 × 90¼.

Гарнитуры тайме, гелиос.

Офсетная печать.

Объем 6,00 бум. л.

Бумага офсетная № 1.

Усл.-печ. л. 12,00.

Уч.-изд. л. 15,34.

Усл. кр.-отт. 49,50.

Изд. № 25/9058. Заказ № 235.

Тираж 9465 экз. С5.

Издательство «Мир»

Министерства информации и печати

Российской Федерации

129820, ГСП, Москва, И-110,

1-й Рижский пер., 2.

Набрано в Фотонаборном центре
издательства «Мир»

Типография В/О «Внешторгиздат»

Министерства информации и печати

Российской Федерации

127576, Москва, Илимская, 7

