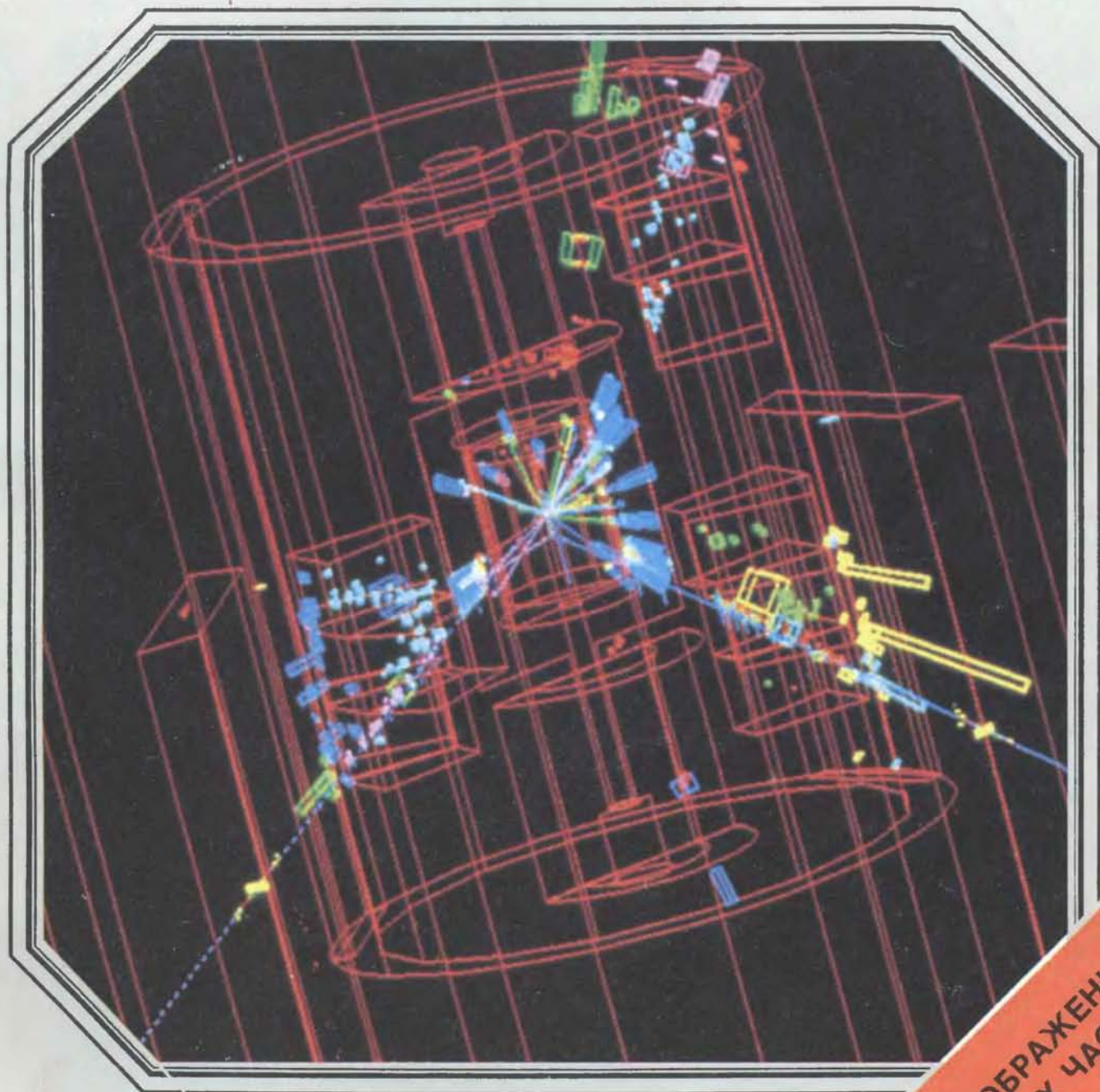


В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN

Издание на русском языке



Октябрь **10** 1991

СЛЕДЫ И ИЗОБРАЖЕНИЯ
ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

Внимание читателей!

К. Вандекастеле

АКТИВАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Перевод с английского

К. Вандекастеле

Активационный анализ
с использованием
заряженных частиц

издательство «Мир»

Активационный анализ с использованием заряженных частиц относится к ядерно-физическим методам исследования и находит применение в радиоаналитической химии, биологии, металлургии, геохимии и космохимии. Преимуществами метода являются высокая селективность, точность, правильность и воспроизводимость результатов анализа и возможность определять легкие элементы (Li, B, C, N, O).

Материал обобщающей монографии бельгийского ученого изложен в семи главах. Глава I посвящена изложению этапов становления метода. Во 2-й главе изложены теоретические принципы, в 3-й аппаратурное оформление метода. В 4-й главе описывается определение легких элементов, в 5-й главе — средних и тяжелых элементов. Глава 6 содержит описание анализа геологических и биологических образцов, а также способов применения активационного анализа при изучении объектов окружающей среды. В 7-й главе рассматриваются возможности использования для активационного анализа тяжелых ядер.

Для химиков-аналитиков, радиохимиков, физиков, а также студентов и преподавателей химических и физических вузов.

1992 г. 12 л. Цена 5 р. 00 к.

Эту книгу вы сможете заказать в магазинах научно-технической литературы

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»

№ 10 · ОКТЯБРЬ 1991

В номере:

СТАТЬИ

(Scientific American, August 1991, Vol. 265, No. 2)



6 Антинаучные тенденции в Советском Союзе

С. П. Капица

Советский ученый прослеживает причины, лежащие в основе современного всплеска интереса к суевериям, культовым верованиям и антитехнологическим движениям в своей стране



14 Сталкивающиеся галактики

Джошуа Барнес, Ларс Хернквист, Франсуа Швейцер

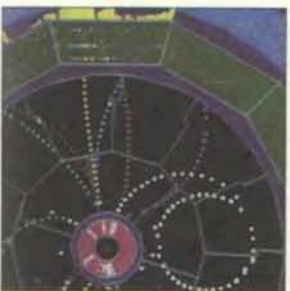
Грандиозные сближения галактик друг с другом, как оказалось, происходят довольно часто. Наблюдения и компьютерное моделирование показывают, что эти космические столкновения могут приводить к формированию эллиптических галактик и активизировать квазары



24 Теломера человека

Роберт К. Мойзис

Эта специализированная ДНК, присутствующая на концах хромосом, не содержит генов, но очень важна для сохранения хромосом в ряду поколений

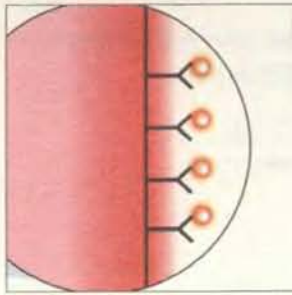


34 Наука в картинках

Следы и изображения элементарных частиц

Хорст Брюкер, Ганс Древерман, Кристоф Граб, Альфонс А. Рейдмейкерс, Говард Стоун

Каждую секунду на самом большом в мире коллайдере получают 25 млрд. бит информации. Как и почему она превращается в изображения элементарных частиц?



42 Биосенсоры

Джером С. Шульц

Прежде шахтеры брали в забой канареек, чтобы по их поведению узнавать о появлении угарного газа. В современных угольных шахтах используются сложные «заменители» канареек, состоящие из молекулярных компонентов растений или животных, соединенных с микроскопическими электродами или оптическими нитями



50 Пчелиные волки

Говард Э. Эванз, Кевин М. О'Нейлл

Активные охотники, самки этих насекомых ежегодно вылавливают множество пчел на пропитание своему потомству. Самцы крайне агрессивны и дерутся между собой за обладание самками



58 Антихаос и приспособление

Стюарт А. Кауфман

Не исключено, что биологическая эволюция происходила не только путем естественного отбора. Компьютерные модели свидетельствуют, что некоторые сложные системы проявляют склонность к самоорганизации



67 Тенденции в биологии

Умные гены

Тим Бердсли

Каким образом при одинаковых генах получаются разные клетки? Это определяется тем, какие гены активируются и когда. В настоящее время интенсивно изучаются химические сигналы, регулирующие процесс клеточной дифференцировки

РУБРИКИ	4	Об авторах
	5	50 и 100 лет назад
13, 22, 32, 40,		
48, 57, 77, 81		Наука и общество
	78	Занимательная математика
	90	Книги
	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

© 1991 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

ЗАВЕДУЮЩАЯ РЕДАКЦИЕЙ
Л. И. Желуховцева

РУКОВОДИТЕЛЬ ГРУППЫ ФОТОАБОРА
В. С. Галкин

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР
А. В. Лыткина

КОРРЕКТОР
Р. Л. Вибке

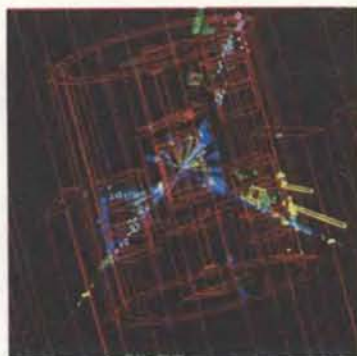
ОФОРМЛЕНИЕ ОБЛОЖКИ РУССКОГО ИЗДАНИЯ
М. Г. Жуков

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», 1991

На обложке



СЛЕДЫ И ИЗОБРАЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

На обложке показан «взрыв» частиц при столкновении электронов и позитронов в детекторе L3 ЦЕРНа. Для каждого столкновения детектор вырабатывает 500 тыс. битов информации. Авторы статьи «Следы и изображения элементарных частиц» (с. 34) создали компьютерную программу для преобразования этих данных в изображения — это важнейший этап в анализе таких событий. Красными линиями показана структура детектора, другие цветные линии — траектории частиц. Цветные «столбики» показывают, куда частицы попали в детекторе и какая энергия выделилась при этом.

Иллюстрации

обложка: CERN photo

СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК
7—10	Sovfoto, Inc.		J. Wynne; Robert K. Moyzis (фото)		University of California at San Diego; Manfred Frasch, Max Planck Institute for Developmental Biology (внизу справа)
15	Joshua Barnes	29	Jason Küffer	70	Michael Goodman
16—17	Halton C. Arp, Max Planck Institute for Physics and Astrophysics, Victor M. Blanco, Cerro Tololo Inter-American Observatory, François Schweizer (вверху), Joshua Barnes, Lars Hernquist (внизу), Patrick Seitzer, Space Telescope Science Institute, François Schweizer (внизу, крайний справа)	30	Robert K. Moyzis	71	Graeme Mardon, University of California, Berkeley (вверху), William J. McGinnis, Yale University (в середине), Mario R. Capocchi, University of Utah (внизу)
18	Joshua Barnes, Lars Hernquist	31	Jason Küffer	72	Charles R. Kissinger, Carl O. Pabo, Johns Hopkins University (слева), Nikola P. Pavletich, Johns Hopkins University, Carl O. Pabo (справа)
19	Michael Goodman	34—35	CERN Photo	73	Michael Goodman
20	Alan M. Dressler, Carnegie Institution of Washington (вверху), Andrew S. Fruchter, University of California, Berkeley (внизу)	36	Science Photo Library Photo Researchers, Inc.	74	Robert T.N. Tjian, University of California, Berkeley
21	Alan H. Bridle, National Radio Astronomy Observatory	37	University of California Lawrence Berkeley Laboratory Photographic Services (вверху и в середине), CERN Photo (внизу)	75	Douglas A. Melton, Harvard University
25	Robert K. Moyzis	38	Ian Worpole	78—80	Andrew Christie
26	George Retseck	39	CERN Photo		
27	Jason Küffer	42—43	Scott Goldsmith		
28	Patricia	44	Laurie Grace		
		46—47	Laurie Grace		
		51	Darryl Gwynne, Arendale College, University of Toronto		
		52—55	Sally Bensusen		
		56	Howard E. Evans, Kevin M. O'Neill		
		58—59	Phototake, Inc.		
		60	Jason Küffer		
		61—62	Edward Bell		
		63—64	Jason Küffer		
		66—67	Tomo Narashima		
		68	Michael Goodman		
		69	Michael Levine,		

Об авторах

СЕРГЕЙ ПЕТРОВИЧ КАПИЦА «Антинаучные тенденции в Советском Союзе» — заведующий лабораторией в Институте физических проблем Академии наук СССР и кафедрой физики в Московском физико-техническом институте. Он президент Физического общества Советского Союза и главный редактор журнала «В мире науки». Эта статья написана на основе доклада, представленного на советско-американский семинар, проходивший в Бостоне в мае 1991 г.

Joshua Barnes, Lars Hernquist, Francois Schweizer «Colliding Galaxies» (ДЖОШУА БАРНЕС, ЛАРС ХЕРНКВИСТ, ФРАНСУА ШВЕЙЦЕР «Сталкивающиеся галактики») объединены общим интересом к взаимодействующим галактикам. Идея этой статьи возникла у них во время семинара по теоретической астрофизике в Физическом центре в Аспене (шт. Колорадо) в 1990 г. Барнес получил степень доктора философии в области астрономии в Калифорнийском университете в Беркли в 1984 г. Сейчас он работает в Институте астрономии в Гонолулу (шт. Гавайи). В свободное время Барнес увлекается классической музыкой. Хернквист получил степень доктора философии в области физики в Калифорнийском технологическом институте в 1985 г.; в настоящее время он профессор астрономии в Ликской обсерватории Калифорнийского университета в Санта-Крус. Швейцера получил степень доктора философии в области астрономии в Калифорнийском университете в Беркли в 1975 г. Последние десять лет работает в отделении земного магнетизма Института Карнеги в Вашингтоне.

Robert K. Moyzis «The Human Telomere» (РОБЕРТ К. МОЙЗИС «Теломера человека») — директор Центра по изучению генома человека в Лос-Аламосской национальной лаборатории. Степень доктора философии в области молекулярной биологии получил в Университете Джонса Гопкинса, где затем преподавал. В 1984 г. перешел в Лос-Аламосскую лабораторию в качестве руководителя группы по генетическим исследованиям; нынешний пост занимает с 1989 г. Мойзис — член комитетов министерства энергетики США и Национальных институтов здоровья, руководящих

американской программой картирования и секвенирования хромосом человека.

Horst Breuer, Hans Drevermann, Christoph Grab, Althouse A. Rademakers, Howard Stone «Tracking and Imaging Elementary Particles» (ХОРСТ БРЮКЕР, ГАНС ДРЕВЕРМАН, КРИСТОФ ГРАБ, АЛЬФОНС А. РЕЙДМЕЙКЕРС, ГОВАРД СТОУН «Следы и изображение элементарных частиц») сконструировали систему получения изображений событий, зарегистрированных детекторами коллайдера LEP в Европейской организации ядерных исследований (ЦЕРН) близ Женевы.

Jerome S. Schultz «Biosensors» (ДЖЕРОМ С. ШУЛЬЦ «Биосенсоры») — директор Биотехнологического и биоинженерного Центра при Питтсбургском университете, где он ведет исследования по биосенсорам и имунотехнологии. Ранее был заведующим кафедрой химической инженерии в Мичиганском университете. В 1985—1987 гг. занимал должность заместителя директора междисциплинарных исследований в Национальном научном фонде, где способствовал развитию программы Инженерного исследовательского центра. Степени бакалавра и магистра получил в Колумбийском университете, докторскую степень в области биохимии — в Висконсинском университете.

Howard E. Evans, Kevin M. O'Neill «Beewolves» (ГОВАРД Э. ЭВАНЗ, КЕВИН М. О'НЕЙЛЛ «Пчелиные волки») совместно изучали поведение пчелиных волков больше пятнадцати лет. Эванз — почетный профессор энтомологии в Университете шт. Колорадо, где работает с 1973 г. До того служил куратором коллекции перепончатокрылых в Музее сравнительной зоологии Гарвардского университета. Степень доктора философии в области энтомологии получил в Корнеллском университете. Автор 12 книг и более 200 статей о насекомых и их поведении. О'Нейлл получил степень доктора философии в области энтомологии в университете шт. Колорадо, где его руководителем был Эванз. Теперь он профессор в Университете шт. Монтана, преподает энтомологию. Вместе с Эванзом написал книгу и имеет еще 35 публикаций по поведению и экологии насекомых.

Stuart A. Kauffman «Antichaos and Adaptation» (СТЮАРТ А. КАУФМАН «Антихаос и приспособление») вопросами самоорганизации живых организмов впервые заинтересовался в 1965 г. После окончания Дартмутского колледжа и Оксфордского университета Кауфман получил медицинский диплом в Калифорнийском университете в Сан-Франциско в 1968 г. С тех пор работал в Массачусеттском технологическом институте, Чикагском университете и Национальном институте рака. В настоящее время он профессор биохимии и биофизики на медицинском факультете Пенсильванского университета и по совместительству работает профессором Института в Санта-Фе (шт. Нью-Мексико). В 1987 г. Кауфман стал стипендиатом фонда Джона Д. и Катрин Т. Макартур.

Внимание читателей!

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНАЯ ГАЗОВАЯ ХРОМАТОГРАФИЯ

Перевод с английского
Под ред. К. Хайвера

Книга, написанная коллективом специалистов фирмы Хьюлетт-Паккард (США) и крупным ученым из Бельгии П. Сандра, посвящена капиллярной газовой хроматографии, в частности новым вариантам ее аппаратного оформления. Материал распределен по 8 главам. Из них первая содержит в сжатом виде теоретические основы метода, 6 глав посвящены практике: описанию колонок, способов введения образца, детекторов (включая их сопряжение с компьютером), способов качественного и количественного анализа. В последней главе приведены примеры использования метода для исследования органических (нефтехимических) и биологических материалов (в том числе пищевых, лекарственных веществ, плазмы крови и др.).

Для химиков-аналитиков и всех специалистов, использующих в работе газовую хроматографию.

1992 г. 16 л. Цена 11 р. 50 к.
Эту книгу вы можете заказать в магазинах научно-технической литературы



50 и 100 лет назад



АВГУСТ 1941 г. «Если будут найдены способы и средства для нанесения противнику тяжелых потерь путем распространения инфекций или сильноедействующих ядов на его территории, то, несмотря на все сентиментальные возражения, эти жестокие и антигуманные методы будут в целом одобрены. К счастью для человечества, преувеличенные опасения по поводу воздействия бактериологического оружия не имеют под собой оснований. Столовой ложки токсина bacillus botulinus было бы достаточно для того, чтобы отравить все население большого города. На одном самолете можно разместить столько ботулинического токсина, чтобы уничтожить все человечество. Но на практике все не так просто. Произвести необходимое количество этого токсина и обеспечить его транспортировку было бы нетрудно, главная же проблема заключается в способе его применения. В ходе первой мировой войны было изготовлено 100 млрд патронов — достаточно для того, чтобы 50 раз уничтожить все человечество, но, несмотря на это, некоторые из нас остались живы».

«Новый метод лечения гонореи, который, по утверждению д-ра Уильяма Бромме из Детройта, обеспечивает излечение 100% больных, делает возможным полностью избавиться от этой болезни. Полное излечение за три дня 100 человек из 100 было достигнуто благодаря применению сульфатаизола. Все ранее использовавшиеся методы лечения гонореи оказались неэффективными, так как лекарство не могло воздействовать на гонококков, которые быстро уходили под кожный покров в более глубокие ткани, являющиеся местом их обитания. Д-р Бромм предсказывает, что через 20 лет не будет случаев увечности от гонореи или других осложнений для того, чтобы можно было продемонстрировать таких больных студентам-медикам».

«Следующим этапом экспериментов было изучение поведения летучих мышей после лишения их возможности использовать голос. Биологам из Гарвардского университета Галамбосу и Гриффину удалось сначала перевязать веревкой хоботковидный рот животного и затем наложить на его губы коллодий. В результате число

столкновений возросло до 65%. Передатчик, работающий в ультразвуковом диапазоне, каковым по существу является летучая мышь, больше не мог издавать звуковые сигналы во время полета. Для того чтобы окончательно убедиться в том, что крик, зарождающийся в гортани животного, действительно является ультразвуком, исследователи на короткие промежутки времени погружали голову летучей мыши в воду. В течение этого времени записывающая аппаратура не регистрировала никаких звуков высокой частоты».

«То, что стальные корпуса современных автомобилей являются эффективным защитным экраном от молнии, было недавно доказано в эксперименте, проводившемся в лабораториях компании Westinghouse Electric & Manufacturing, в ходе которого на крышу легкового автомобиля был направлен разряд искусственно вызванной молнии в 3 млн вольт. Несмотря на то, что молния ударила в крышу в нескольких дюймах от головы сидевших в кабине инженера, единственными следами повреждений явились небольшие горелые метки на металле».



АВГУСТ 1891 г. «Природа тропиков благодатна для отравителя. Со всех сторон в изобилии растения, из которых после несложной обработки можно получить сильнодействующие



Безопасный способ обращения с боа-констриктором

яды. К его услугам — лобелия, пух vomica, белладонна, синильная и щавелевая кислоты, urichitine, манцинелла и многие другие менее известные вещества. Из представителей животного мира хорошо известны яды тарантулов, скорпионов, многоножек и некоторых змей».

«Чикаго — великий город, удивительно предприимчивый и во многом непохожий на другие города нашего континента. Он победил всех конкурентов в борьбе за право проведения всемирной выставки, а теперь в нем работает женщина-инженер. Сообщается, что звание инженера досталось ей нелегко еще и потому, что она — женщина. Для нее был устроен несколько более сложный экзамен, чем обычно. Среди всего прочего ее спросили, каким должен быть выпуск у двигателя мощностью 7 л.с. и что следует предпринять, если вдруг заест клапан. Когда экзамен закончился, экзаменаторы написали на ее работе — «принято», и мисс Де Барр стала полноправным дипломированным специалистом по паровым двигателям».

«Рабочий XIX в. трудится на пределе своих возможностей и для поддержания сил прибегает к таким возбуждающим средствам, как кофе, чай, специи, алкоголь и табак. Все это приводит к чрезмерному нервному возбуждению, и для того, чтобы его преодолеть, рабочий обращается к наркотикам, и прежде всего к морфию. Опасность привыкания к этому наркотику обусловлена испорченностью нравов нашего времени. Никто не намерен терпеть боль даже совсем непродолжительное время. Без применения болеутоляющих средств не обходится ни удаление зуба, ни рождение ребенка, а когда приходит смертный час, нам требуется эйтаназия».

«Банан относится к семейству лилий и является развитой тропической лилией, в которой в результате многовекового культивирования произошло удаление семян и значительное увеличение плода. Что касается способности плодоношения этого растения, то, по утверждению Гумбольта, участок земли, на котором можно получить 90 фунтов картофеля или 33 фунта пшеницы, даст 4000 фунтов бананов».

«Г-н Г. Р. О'Рейлли много путешествовал в поисках змей и рептилий и без особого труда может ловить самых ядовитых змей. На рисунке показано, как легко он обращается с боа-констриктором в Музее центрального парка».

Антинаучные тенденции в Советском Союзе

Советский ученый прослеживает причины, лежащие в основе современного всплеска интереса к суевериям, культовым верованиям и антитехнологическим движениям в своей стране

С. П. КАПИЦА

ГЛУБОКИЕ ПЕРЕМЕНЫ, которые в Советском Союзе связаны с перестройкой и новой политикой, проводимой президентом М. С. Горбачевым, привели, как это ни парадоксально, к появлению мощного потока антинаучных и антитехнологических проявлений. Эти настроения нашли свое выражение в неприятии ядерной энергетики после чернобыльской аварии, в общей реакции на технический прогресс, в интересе к сверхъестественному, отрицании завоеваний разума и во множестве других проявлений иррациональности и мистицизма.

При анализе подобных социальных явлений очень важно не смешивать их видимые симптомы с теми, более глубокими, причинами драматических изменений в обществе, которое до недавних пор считало себя приверженным науке, рациональным и даже как бы основанным на «научных» принципах. Такие симптомы важны прежде всего потому, что они свидетельствуют о более глубоком кризисе. Однако они также указывают на некоторые очень опасные устремления, к которым мы еще вернемся ниже.

Чтобы правильно понять нынешние тенденции в обществе и увидеть их в должной перспективе, необходимо осознать масштабы кризиса, в котором оказалась страна, и всю сложность переходного периода, который она переживает. С самых высоких трибун заявлено, что холодная война кончилась. А когда война кончается, то есть победители и побежденные. И мы точно знаем, кто в ней победил — Япония и Германия. (Здесь мы не ставим своей задачей рассматривать положение США.) Ясно, однако, что Советский Союз потерпел поражение.

Война действительно была холодной. Тем не менее признаки поражения налицо. Наши войска, униженные и деморализованные, уходят со всех позиций. Наши прежние союзники и страны, поддерживаемые нами, уже

почти все оставили нас, и сами испытывают большие потрясения.

Экономика в стране разваливается, инфляция продолжает увеличиваться, а коррумпированная система распределения не способна обеспечить население продовольствием. Командно-управляемая экономика вынуждена двигаться к рынку не столько потому, что рынок эффективнее, сколько потому, что командно-административная система в значительной мере обслуживала военный сектор. Так военное поражение стало одним из факторов экономических преобразований.

Кризис также и политический. Старый режим распадается даже быстрее экономики, и ослабление власти центра угрожает самому существованию Советского Союза. Пока еще именно экономические связи, такие как энергетика и топливо, транспорт и связь, все сложнейшие хозяйственные отношения во взаимосвязанной и очень напряженной и развитой промышленности, в большей степени удерживают Союз, чем власть центра.

Мы должны признать, что после 70 лет борьбы главная цель социалистического государства не достигнута. Теперь мы отказываемся от цели социалистической революции, идеи строительства коммунизма через великий переворот, который должен был бы охватить весь мир. Именно эта основная битва полностью проиграна, и именно в этом причина нашего кризиса. И поэтому сегодня мы должны не только демилитаризовать нашу экономику, но и изменить, демилитаризовать сознание и начать развиваться по общечеловеческому пути демократии и свободы.

Представление о мировой революции основано на идеях Маркса. Теперь мы видим ограниченность, если не ошибочность многих из этих представлений, которые в течение длительного времени лежали в основе нашей внутренней и внешней политики. Именно это крушение идеологии есть мера нашего поражения и мера того переосмысления исторических пере-

мен, которые нам суждено пережить. По неписаным законам холодной войны мы вынуждены признать поражение и подчиниться силе без явного ее применения, так же как при политике взаимного устрашения, ставшей формой ведения войны, которую проигрывают без вступления в бой.

В Советском Союзе мы постепенно если не соглашаемся с таким подходом, то по крайней мере молчаливо его принимаем. Некоторые продолжают защищать старые принципы. Наши военные еще должны осознать новые реальности бытия. Другие стараются спасти то, что разумно и еще можно сохранить из прошлого. Действительно, ряд завоеваний социализма несомненно представляет ценность. Так, общественная собственность и государственное плановое начало эффективно работают во многих странах.

ОДНАКО ЗДЕСЬ мы не будем обсуждать эти темы. Заметим лишь, что некоторые причины кризиса, постигшего Советский Союз, имеют более общее значение. Таким, в частности, стало применение военной силы для решения политических проблем в современном мире. В этом мы можем видеть одно из указаний на кризис упрощенно понятого рационализма.

Рациональные принципы политики и общественного устройства провозглашались с классической древности. Однако мы обратимся к XVII веку, для того чтобы увидеть более близкие нам корни современного рационализма. В первых шагах истории науки нового времени, в идеях Коперника и Везалия, Кеплера и Галилея, Декарта и Бэкона мы видим начала современного рационального мышления, в утверждении примата знания над верой, научного метода, опыта над силой авторитета. Блестящим примером тому стала классическая, или, как говорят французы, рациональная, механика, триумфом которой явилась небесная механика Солнечной системы,

ставшая, быть может, самым ярким за все времена событием в развитии знаний человека.

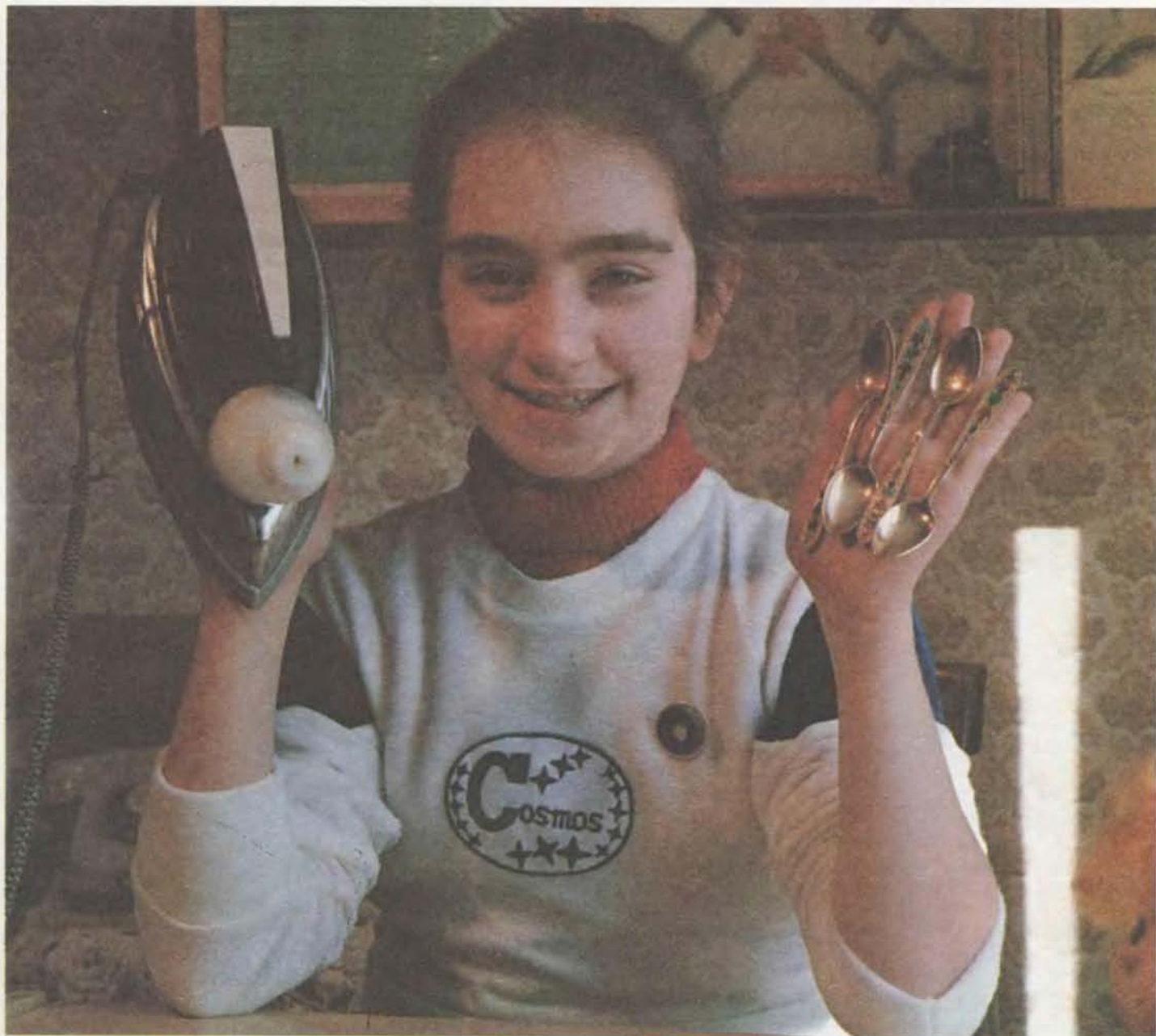
Именно эти поразившие сознание современников достижения науки произошли одновременно с развитием мировой торговли и капитализма, с крушением авторитета церкви и монархических режимов. Со всех точек зрения это было время великой перестройки Европы, время раскола реформации и тридцатилетней войны. В эту эпоху потрясений и смуты одновременно с расцветом науки с невероятной силой расцвели и суеверия. Только в Европе в XVII веке, по достоверным данным, заживо сожгли или утопили не менее 50 000 ведьм:

Кеплеру с немалым риском для себя удалось спасти мать от костра. Так Европа прощалась с тысячелетием средневековой идеологии и образа жизни. В меньшем масштабе подобные симптомы мы видим в «месмеризме» — животном магнетизме — в канун Великой французской революции, в спиритизме, «научных» суевериях и распутищине перед потрясениями XX в.

Примером того, как внешние проявления иррационального становятся индикаторами общественного сознания, стало появление хиппи в США во время войны во Вьетнаме. Автор хорошо помнит, как в 1967 г. во время первой поездки в США он прибыл из

Сиднея в Сан-Франциско. В тот самый день друзья повезли меня в район Хейт-Ашбери, где я впервые увидел «детей-цветов». На следующий день я поехал на крупнейший линейный ускоритель в Станфорде, и тогда же радио сообщило о начале шестидневной войны в Египте...

Суеверия, культы и мистика с поразительной неизбежностью возникают во время кризиса общества. Сегодня это парапсихология и экстрасенсы, ясновидение и астрология, снежные люди и летающие тарелки. В задачу автора не входит анализ подобных представлений, лежащих вне современной науки. Нам здесь важен именно этот поразительный интерес



ПРИМЕТЫ ВРЕМЕНИ. Свидетельства сверхъестественных, паранормальных явлений, так хорошо знакомые в США и других странах всем, кто заглядывает в «желтую» прессу, теперь появились и в Советском Союзе, привлекая внимание самых различных слоев населения. Эту фото-

графию, распространенную агентством ТАСС, сопровождала следующая подпись: «10-летняя девочка из Грузии демонстрирует свою необыкновенную способность притягивать руками металлические предметы — от чайных ложек до утюгов».



«ЭКСТРАСЕНС», сидящий справа, говорит, что женщина в пестром платье не могла ходить, но после первого же сеанса она бросила костыли и теперь может подпрыгивать до

70 раз. «Это, однако, мало и вы сможете прыгать до 200 раз», — утверждает хилер.

ко всему неочевидному и невероятно-му. Именно этот интерес становится индикатором неустроенности общества, свидетельствует об уходе от действительности, о потере смысла и цели жизни как обществом, так и отдельной личностью. Эти симптомы наблюдаются и на Западе, особенно в США, где они имеют более хронический характер, у нас же с недавних пор это приняло поистине лихорадочный масштаб.

Здесь особый счет следует предъявить средствам массовой информации. В Советском Союзе гласность привела к поразительному и очень важному раскрепощению общественного сознания. По существу эти глубокие и благотворные перемены коснулись самих его основ. Однако вместе с этими исключительно важными и принципиально значимыми переменами оказались развязанными силы иррационального, потустороннего и мистического, силы, которые долгие годы были сдерживаемы как мощью власти и прямой цензурой, так и верой в правоту официальной линии. Сейчас же все запреты сняты, а общая ситуация такова, что иррациональные стремления оживились, следуя также давней тенденции к своему проявлению в моменты кризиса.

Какова же сегодня ответственность средств массовой информации? Сле-

дует ли печатать любой вздор, какой терпит бумага и, как нам утверждают, требует публика? Следует ли призывать к ответственности и контролю свыше или же можно положиться на чувство меры и достоверности, можно сказать, на уровень культуры и зрелости редакторов или издателей? Что касается пропаганды насилия и распространения порнографии, то существует указ Президента, призывающий к вмешательству министра культуры. Однако кто позаботится о достоверности информации в области науки и знаний, предупредит публику о «ценности» астрологии и «гарантиях» верности предсказателей? С огорчением приходится отметить, что вместе с процветанием экстрасенсов и колдунов объем телевизионного вещания по науке и технике, равно как тиражи научно-популярных журналов, резко пошли на убыль. Эти изменения значительны и повсеместны, и, несомненно, научная общественность могла бы гораздо активнее выступить в защиту разума и даже собственных интересов. Наконец, в нашей науке есть много признаков застоя и нетерпимости к прогрессу, к пересмотру установившихся порядков и представлений. В этом также есть одна из причин тому вызову, который бросают так называемой «официальной» науке. Для всех нас

отношение к науке и технике — коренной вопрос о нашем будущем, который мы оставляем без ответа.

Во многих случаях есть сильная корреляция между антинаучными и антитехнологическими тенденциями и самыми реакционными проявлениями общественного сознания. Связь национализма и фашизма с антиинтеллектуальными и антисемитскими выпадами хорошо известна. Именно эта связь может быть сигналом той истинной опасности, которая здесь есть, опасности, куда большей, чем поиски иррационального, и, по существу, эскапистские и детские устремления уфологов. Политический экстремизм возникает именно на основе подобных настроений, и здесь есть прямая угроза тем очень важным и существенным изменениям, которые происходят в стране.

На все происходящее можно взглянуть и еще с одной стороны. По существу происходит смена одной системы мифов другими. Однако новые «мифы» по-прежнему отражают лишь альтернативное мифологическое мышление. Здесь термины «мифологическое мышление» и «мифы», занимавшие важное место в прошлом, применяются в смысле, который им придал и значение которого с такой пронизательностью вскрыл в своих исследованиях французский

антрополог Клод Леви-Строс, обращаясь к заре человеческой культуры и ее эволюции на ранних, донаучных стадиях.

Отступление к мифологическому мышлению, некритическому восприятию наблюдаемых явлений, а затем переход к примату веры над знанием никоим образом не означают создание некой новой альтернативной науки, системы знаний, отличных от установленных длительным процессом развития мировой науки. Мы видели печальные результаты такого опыта в биологии при утверждении Лысенко так называемого мичуринского учения, насаждавшегося уже политическими методами. К сожалению, опасность такого рода событий не исключена и сегодня. Хотелось бы быть уверенным в том, что наука устоит в конечном итоге в борьбе со всеми, кто нападает на ее завоевания, такие как теория относительности, квантовая механика или эволюционное учение.

В отношении анти- и псевдонаучной практики всегда поражает не столько прямая безграмотность таких попыток, сколько пренебрежение основами научного метода. Более того, самые рьяные «новаторы» отрицают сам метод науки. Теория познания и методология науки действительно относятся к одной из сложных и интересных глав философии науки, однако поразительна та легкость, с которой не только отбрасывается

многолетний опыт науки, но и элементарные требования логики, даже здравого смысла.

С другой стороны, подобная «критика» настаивает на том, чтобы считаться научной, называет себя альтернативной наукой, навязывает себя в собеседники с учеными, не желая, однако, признавать «правила игры». Многие учения для придания авторитета называют себя наукой. Таковы «Крисчен Сайенс» и сциентология в США, научная астрология и научный коммунизм у нас. Состояние методологической культуры многих представителей нашей научной и технической интеллигенции несомненно связано с общим кризисом, постигшим нашу официальную философию, науку и идеологию, да и культуру в целом.

Степень разложения хорошо иллюстрируется делом чл.-корр. АН СССР А. Г. Спиркина, автора основного учебника по диалектическому материализму, в течение многих лет специализировавшегося в этой области. В последние годы Спиркин стал особенно известен своей систематической поддержкой экстрасенсов, хилеров, ясновидящих и других, подобных им, феноменов. По-видимому, Спиркин добросовестно полагал необходимым исследовать подобные проявления природы человека, как истинного явления, не будучи однако профессионально и научно подготовленным и способным изучать эти «объекты».

В 1990 г. Отделение философии и права Академии наук СССР выбрало А. Г. Спиркина академиком. К счастью для Академии, общее собрание это позорное решение не утвердило, а академик И. Т. Фролов призвал распустить Отделение философии и права, чего, однако, сделано не было. Выборы Спиркина ясно показывают состояние дел в этой области в высшем научном учреждении страны. К сожалению, Академия наук далеко не безгрешна и в своих публикациях. Так, ее издательство «Наука» массовым тиражом выпустило книгу про астрологию и обещает еще восемь книг общим тиражом 800 000 экземпляров, в то время как многие серьезные научные монографии не издаются из-за отсутствия средств и бумаги.

С другой стороны, сегодня, как никогда, важна развернутая работа не только по критике и переосмыслению прошлого, сколько в исследовании путей в будущее, поиск новых идей и идеалов. Помимо вопросов экономики, это, наверное, самый значимый социальный заказ нашей науке и культуре.

ПРИЧИНЫ нынешнего кризиса в известной мере обусловлены той упрощенной, даже механистической моделью социального развития, которая до сих пор владеет умами, комплексом идей по существу позитивистских, из которых марксизм, быть может, наиболее выражен (пусть про-



СЕАНС МЕДИТАЦИИ, проводившийся в Москве в зале ЦДСА в октябре 1990 г. Вся публика — за исключением маленького скептика в углу справа — слушает индийского гостя, который, согласно ТАСС, обучает «моральному само-

усовершенствованию, саморегуляции и самолечению». Кроме того, он предполагает открыть школу в одной из московских клиник.

ОНЖ

ОБЩЕСТВЕННЫЕ
НАУКИ
И СОВРЕМЕННОСТЬ

ГОЛОС ИЗ КОСМОСА:

«Я не вершитель судеб... Мне неоткуда приходить и некуда уходить. Я вне времени и над пространством..., но я всегда, постоянно в тебе самом, как маленькая частичка огромной мыслящей материи. Ты сумел пробудить меня в себе и теперь я бужу тебя...»

Начиная с № 3 нашего журнала в новой рубрике «Проблемы Высшей Реальности» мы будем публиковать диалоги с космическим Разумом, записанные сотрудниками Всесоюзного научно-координационного и исследовательского уфоцентра Л. Вейнгеровой и Д. Гурьевым.

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «Общественные науки и современность», издаваемый Академией наук СССР, предлагает на последней странице обложки к сведению своих читателей следующую информацию.

стят профессионалы такое утверждение). Речь идет о том, что замечательные успехи естественных наук, классической механики и физики XVII и XVIII вв. предоставили слишком сильный пример для общественных наук и политических теорий. Даже некоторые из их представлений оказались заимствованными из точных наук, когда начали говорить о массах и движении, силах и энергии. Историю стали представлять как причинный процесс, познав законы которого, можно управлять развитием общества, подобно предсказанию траекторий небесных тел в астрономии. В том самом веке, когда стал понятен процесс, если не механизм эволюции в биологии, были с большой полнотой выяснены значения локальных принципов эволюции и отсутствие цели при наличии тем не менее самоорганизации и прогресса. Осмысления этих методологических принципов в общественных науках не произошло, а вульгаризации социал-

дарвинистов хорошо известны. Экономисты до сих пор с трудом усваивают идеи о том, что общество суть открытая система, где в равной мере важно иметь в виду как первое начало термодинамики, так и второе.

Однако сегодня легко, со свойственным физикам чувством превосходства, нападать на представителей неестественных наук в том, в какой мере они руководствуются механистическими «идеями» истории. Однако не видим ли мы и в естественных науках тот же механистический и редукционистический подход к часто недостаточно обоснованному, формальному, математическому моделированию, который, по мнению его авторов, должен сразу привести к раскрытию тайн природы и общества. Если компьютер непревзойден в своих способностях к переработке чисел и информации, то пока мы не определим исходные понятия и не научимся их измерять, вся мощь искусственно-

го интеллекта будет не способна помочь немощи нашего естественного сознания. Так мы еще раз убеждаемся в том, что общественные явления гораздо более сложны и требуют больших усилий ума, чем вся наша физика.

В современных условиях в новых политических институтах Советского Союза это механистическое наследие еще очень сильно и в значительной мере определяет менталитет большинства законодателей и членов правительства. Можно только надеяться, что следующее поколение получит более гуманистическое образование и социально ориентированную направленность. Здесь мы опять видим всю значимость конструктивного подхода к анализу и, главное, прогнозу нашего развития. На повестке дня стоит требование новых идей, идеологий и ценностей, даже идеологии, несмотря на все отрицательные ассоциации, которые это понятие вызывает в век новой свободы. Поэтому здесь трудно согласиться с представлениями о конце истории и идеологии, о которых так ясно написал Франсис Фукояма. Прошлые идеи себя исчерпывают или исчерпали, однако если мы не заполним образовавшуюся пустоту, то она будет занята еще более старыми представлениями и фундаментализмом, утвержденными уже силой и авторитетом власти. Именно в этом состоит сегодня вызов разуму, уход от которого мы наблюдаем.

СУЩЕСТВЕНЕН вывод, состоящий в том, что нам следует эволюционировать, а не идти путем революции и надеяться на быстрое и чудесное избавление от всех бед благодаря вере в новое учение. Сколько раз такое избавление было обещано экстремистами, часто одиночными умами, во многом отчаянными и неудовлетворенными. Именно они бросали вызов обществу или науке, установленному и принятому порядку вещей. Однако без подобных истинных революционеров, оригинальных мыслителей и необычных личностей никакой прогресс был бы невозможен. Поэтому мы должны быть терпимы ко всякому, кто прорывается к неизвестному, пусть даже иногда безумно и нерационально. Мы теперь наконец поняли, что общество, душашее всех диссидентов, ограничивающее поиск и спор, обречено на застой и упадок. Однако где пределы поисков нового и какова мера инакомыслия? Какая дисциплина ума необходима?

Сегодня сила политического и социального экстремизма так велика, что слабые силы общественного порядка и разума далеко не всегда достаточны, чтобы их удержать. Поэтому так

небезразличны позиция и ответственность средств массовой информации в освещении антинаучных и иррациональных идей.

Советскому телезрителю хорошо известен А. Кашпировский. В течение часа или более он заверяет своих слушателей, что избавит их от болезней и недугов, если только они ему поверят. Медицина, переживающая моральный и материальный кризис, слабо возражала против подобных приемов и не смогла противостоять гигантской, по существу чисто электронной, популярности Кашпировского и ему подобных, эксплуатирующих необразованность несчастных людей, часто брошенных официальной медициной. Напомним, что половина полосы новогоднего номера «Правды» в 1991 г. была посвящена прославлению этого «хилера», и в том же номере дается подробное описание некоего предсказателя в Индии, предлагающего верные советы личного и политического свойства. Через несколько дней газета в захлеб пропагандировала женщину, имеющую «оригинальные» идеи по «врачательной гравитации» и устройству общества. Сегодня мы видим также увлечение всевозможными псевдорелигиозными культурами и верованиями, в основном, восточного толка, с паразитическим упорством распространяющиеся среди молодежи и интеллигенции, особенно той, которой не хватает культуры и образованности, той люмпен-интеллигенции, которая может стать такой же основой социального экстремизма, как в недалеком прошлом был люмпен-пролетариат. Поэтому так удивляет отсутствие ответственной критики всего происходящего со стороны настоящей интеллигенции и серьезной печати. Правда, еще в 1988 г. в «Природе» появилась серия статей «Чужим умом», посвященная этой проблематике. Отметим также интересные статьи чл.-корр. АН СССР А. Александрова в журнале «Наука и жизнь» и большую статью академика В. Л. Гинзбурга в «Известиях». Но, по-видимому, есть мощные силы, поддерживающие эту безудержную пропаганду иррационального, силы тем более опасные, что мы видим прямую их связь с проявлениями социального экстремизма и реакции.

РАССМАТРИВАЯ антитехнологические тенденции, естественно обратиться к причинам и последствиям чернобыльской аварии. Теперь через 5 лет после этой крупнейшей аварии ее последствия лучше осознаны, чем раньше, и достаточно подробно описаны. Необходимо заметить, что

как общество — здесь следует говорить в первую очередь о Советском Союзе — мы оказались не подготовленными к реалиям ядерного века. Мы не готовы к нему не только технически и технологически, но и психологически, организационно и даже интеллектуально. Силы, таящиеся в ядерной энергетике, столь велики, что наша моральная ответственность, не говоря уже о социальных и юридических гарантиях, оказались совершенно недостаточно развиты, чтобы ими управлять. Именно это делает Чернобыль неизмеримо больше, чем просто отдельная авария с современной техникой. Последствия аварии на Чернобыльской АЭС — это больше, чем потери в энергетике и экономике, даже больше, чем потери в прямых и косвенных показателях здоровья и благополучия сотен тысяч людей. Действительно, врачи даже не знают, что причиняет больше страданий и горя: радиация или страх перед ней. Более того, мы не можем не видеть потерю доверия в народе к науке, ученым и даже врачам. Сейчас известно, что многое было сделано для того, чтобы приуменьшить масштабы катастрофы и даже дезинформировать людей об истинных ее масштабах, следуя давлению со стороны власти имущих. Приход «ядерной гласности» был долгим и мучительным. Можно ли поэтому удивляться общему неприятию ядерной энергетики, приводящему к замораживанию строительства всех АЭС в стране и потере доверия со стороны народа не только к носителям этой технологии, но и многим представителям науки.

Важным событием стало неприятие и массовый протест — включая республиканское правительство — против ядерных испытаний в Казахстане, испытаний в этой столь пострадавшей в прошлом республике. Заметим, что условия на полигоне Новой Земли немногим лучше для испытателей оружия.

В известном смысле эта реакция здоровая. Ведь повод для гонки ядерного оружия в целом совершенно чудовищен и иррационален, поскольку гигантское накопление ядерного оружия не может быть разумно обосновано. Поэтому этот вопрос выходит далеко за рамки местных протестов. По существу сама гонка вооружений является глобальной демонстрацией немощи военной силы, напрасной надеждой на достижение решения политических вопросов техническим путем. К сожалению, к этому выводу пришли с затратой гигантских и напрасных усилий всех участников этого соперничества.

Сегодня сам военно-промышлен-

ный комплекс, как это ни странно, стал неким своеобразным рассадником антинаучных и иррациональных тенденций. Так, на недавнем международном семинаре, посвященном конверсии военной промышленности, на сопровождавшей его выставке был большой стенд, посвященный уфологии. Отсутствие должного научного руководства, потеря целей и смысла привели к поддержке ряда проектов, не имеющих сколько-нибудь серьезных оснований. В этой области гласность и открытость просто необходимы для нормального развития, особенно во время перемен и поисков новых обоснований для гигантского сектора промышленности, привыкшего к полному и некритическому удовлетворению всех своих потребностей.

В Советском Союзе антитехнологические выступления происходят не только по поводу ядерного комплекса. В Москве по требованию жителей прекращено строительство Северной ГРЭС. Последствия такого решения могут быть очень существенными и надолго задержать развитие теплоэнергетики столицы.

Требования защитников окружающей среды по закрытию ряда энергетических, металлургических, химических и биотехнологических предприятий несомненно во многом обоснованы. Однако очевиден прямой урон народному хозяйству, и недаром правительство об этом предупреждало страну. В этой ситуации выход состоит не во взаимных обвинениях и угрозах, а в том, чтобы исключить вред окружающей среде и найти для этого как средства, так и понимание людей. Общественность, инженеры и ученые должны восстановить ту степень доверия и взаимопонимания, без которых никакой прогресс невозможен. Иррациональными требованиями здесь ничем помочь нельзя, а нужна дружная, длительная и последовательная работа души и разума.

Для автора очень поучительной была встреча в 1978 г. с Улофом Пальме, который в то время перестал быть премьер-министром Швеции из-за поддержки им ядерной энергетики. Когда его спросили, как это могло произойти, то Пальме сказал, что его правительство не уделяло никакого внимания тому, чтобы подготовить должным образом общественное мнение к этому вопросу. Это было сказано бывшим премьер-министром одной из наиболее цивилизованных стран мира. Можно думать, что возобновление программы ядерной энергетики в нашей стране должно включать в себя широкую и доброкачественную образовательную программу для всех групп населения (от работни-

ков ядерной промышленности до рядового жителя), программу, затрагивающую как физические и технические, так и, в еще большей степени, моральные и человеческие аспекты этой проблемы.

В последнее время, особенно после распада нашей официальной идеологии, очень важны шаги по гуманитаризации высшего образования, в первую очередь в области науки и техники. В МФТИ благодаря ректору чл.-корр. АН СССР Н. В. Карлову принимаются систематические усилия по введению в программу обучения курсов по истории культуры и искусства, науки и религии, по проблемам морали и этики. Наши критики спрашивают, какое это может иметь значение в подготовке ученого и инженера. Ответ состоит в том, что мы должны, как никогда раньше, заботиться об *образовании* наших выпускников. К сожалению, многолетнее пренебрежение этим завершилось чернойбыльской катастрофой, неизбежность которой была предопределена, как в греческой трагедии, всем предшествующим развитием.

Спор между рациональным умом, который может быть неправ в своих конкретных выводах и решениях, и эмоциональным, часто иррациональным подходом, в принципе неверном, но указывающим тем не менее на верное направление, явление достаточно частое и в жизни, и в науке.

Несколько лет назад мне представился диалог между астрономом и астрологом. Астроном — ведущий специалист по физике Солнца, и пока нерешенной загадкой для него стало различие в измеренном потоке нейтрино от Солнца и его светимостью. Иными словами он не знает, почему Солнце светит. Этот крупный, но сомневающийся ученый, несомненно, проиграет в публичном споре с астрологом, чья способность убеждать и авторитетность высказываний выработана вековыми традициями. Далеко не всегда в подобных спорах происходит так, как это было в публичном диспуте между епископом Вилберфорсом и знаменитым пропагандистом дарвинизма профессором Томасом Хаксли. В этом споре об эволюции ученый выиграл не столько благодаря своей правоте, сколько из-за остроумного замечания, что он бы предпочел иметь своим предком обезьяну, нежели епископа.

Парадоксально, что ныне мы импортируем из США креацио-

низм, который столь рьяно пропагандировался там определенными консервативными церковными кругами. Таким фактом стал показ по нашему Центральному телевидению серии креационистских фильмов без каких-либо замечаний со стороны ученых-эволюционистов.

Спор может служить полезным дидактическим средством при пропаганде и преподавании науки. В профессиональной же среде дискуссия обычно происходит в не столь публичной и демонстративной форме. Недавний эпизод с так называемым «холодным синтезом» — осуществлением ядерной реакции в металле, когда именно благодаря безответственному вмешательству средств массовой информации процесс нормального осмысления заявки на потенциально важное научное наблюдение был нарушен. К сожалению, случаи безответственного суждения о научном открытии ученых, часто стремящихся утвердить его в общественном сознании через популярные издания, минуя научную апробацию, наблюдаются все чаще.

Профессор Карл Саган, известный астроном и популяризатор как-то заметил автору, что в США 15 000 астрологов и только 1500 астрономов.



«УЧЕНЫЙ ОТКРЫВАЕТ СВЧ-БИОПОЛЕ», — гласит подпись к этой фотографии, опубликованной ТАСС. Ученый сидит внутри «биоэлектромагнитной установки» СВЧ, которую он построил в подвале своего дома

Однако Кеплер, один из величайших астрономов, сам был практикующим астрологом и составил для себя три гороскопа. В своем гороскопе Кеплер замечает, что он был зачат 16 мая 1571 г. в 4 часа 37 минут утра и рожден 27 декабря в 2 часа дня 30 минут после 224 дней 9 часов и 53 минут беременности. Поэтому становится понятным, почему астрологи в популярном «Московском комсомольце» регулярно дают указания по наилучшему времени для половой активности. Воистину астрология — точная и полезная по всем статьям наука!

ВО ВСЕ ВРЕМЕНА против суеверий, примитивных культов и предрассудков выступала религия, имеющая глубокие корни в культуре и сильные интеллектуальные традиции. Сегодня с возрождением традиционной церкви как хранительницы и проповедницы моральных ценностей (при крахе официальной идеологии) по-прежнему с большой остротой стоит вопрос о рациональной этической системе и системе ценностей. Это очень существенная проблема. С одной стороны, представляет интерес утверждение общечеловеческих моральных принципов, единых во всех главных мировых религиозных системах,

которые были выделены известным германским теологом Хансом Куингом в его экуменических исследованиях. С другой стороны, важным фактом установления некоторых общих моральных принципов стала «Всеобщая хартия прав человека». К сожалению, хартия меньше говорит об ответственности личности, чем о ее правах, ответственности, значение которой мы все больше осознаем.

Глубокий интерес к неизвестному, будь то наше личное будущее или поведение далеких миров, вел человечество по пути великих открытий. Можем ли мы винить людей в том, что такие истинно человеческие мотивы поведения иногда приводили к ошибочным положениям и никогда не были столь прямыми и последовательными, как впоследствии представляется логическому уму и холодному рассудку.

Сегодня, более чем когда бы то ни было, мы должны придавать значение распространению и укреплению научных представлений о мире и о себе, видя в фундаментальных научных идеях часть мировой культуры. Не потому, что так можно напрямую противостоять суевериям и мистике. Их проявления есть лишь

симптом кризиса, и его причины не устраняются столь просто и быстро. Однако последовательные и постоянные усилия по пропаганде науки как части современной культуры действительно более важны для будущего, для поколений, которые придут после нас.

В отношении современных кризисных явлений в обществе, отражение которых мы видим в литературе, искусстве и других формах выражения общественного сознания, мы всегда можем поставить вопрос: в какой мере они выражают действительное состояние духа и в какой мере способствуют его распространению? По существу именно в этом состоит общественная ответственность тех, кто так или иначе контролирует средства массовой информации, ответственность художника и мыслителя, чье творчество и идеи получают таким образом широкое распространение. Иными словами, можно ли было остановить Гитлера, не напечатав «Майн кампф»? Можно ли в действительности так поступать?

Автор лишь напоминает об этой дилемме, однако подобные рассуждения помогают нам понять, что происходит в беспокойные времена кризиса, когда причины и следствия оказываются перемешанными и трудно различимыми в хаосе быстротекущих событий.

Тенденции, которые здесь обнаруживаются, вызывают глубокое беспокойство. Для нашей страны указанные явления проявились еще в прошлом веке после больших потрясений, вызванных перестройкой в пореформенной России и с такой пронзительностью описанной Ф. М. Достоевским в «Бесах» (1872). Только позднее обществоведы и философы обратились к этому кругу вопросов в «Вехах» (1912), а в Октябрьской революции мы увидели конечный результат подобного механистического и экстремистского подхода к историческому процессу.

ГЛУБОКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ, происходящие в Советском Союзе, стали причиной нынешнего всплеска интереса к иррациональному, регрессу, к мифологическому мышлению. В этом мы видим также важный симптом проявлений экстремизма в будущем. В этом состоит истинная опасность, на которую указывают наши более ответственно мыслящие и пронзительные общественные деятели, обществоведы и писатели. К сожалению, как в прошлом, многие интеллигенты не до конца осознают всю меру своей ответственности и часто занимают крайние позиции по подобным

вопросам, полагая, что экстремизм в общественной жизни может занимать такое же место, как в науке или творчестве художника. Однако сегодня при той ответственности и месте, которые занимает в обществе наука, подобный упрощенный подход недопустим. В принципиальном плане речь вновь идет о фундаментальном противоречии между нашей культурой, сознанием и материальным могуществом, будь то военным или экономическим, между тем каким быть и

что иметь. Так, эта давняя дилемма ценностей общества сегодня явилась в новом и непривычном облике.

Можно только надеяться, что разум и добрая воля победят. В прошлом цена, которую наша страна заплатила за вульгарный уравнилительный рационализм, за пренебрежение сущностью человека и общечеловеческими ценностями, так велика, что мы можем понять, если и не простить, современный всплеск иррационализма.

Может ли Япония затормозить глобальное потепление?

Японский план по ослаблению глобального потепления — известный под названием «Новая Земля 21» — не привлек к себе особого внимания на встрече на высшем уровне в Хьюстоне в октябре прошлого года (встреча была посвящена экономическим проблемам). В связи с этим министерство международной торговли и промышленности (ММТП) решило официально объявить о своем предложении. Оно касается того, что именно должны сделать промышленно развитые и развивающиеся страны в ближайшие 50 лет, чтобы защитить и восстановить земную атмосферу.

Представители ММТП обратились в Технологический институт шт. Джорджия с просьбой пригласить ведущих американских экспертов по глобальному потеплению на конференцию, которая должна была состояться в Атланте в начале июня. Про обращение японской стороны можно сказать так: «положение обязывает». «Глобальное потепление — это в значительной степени результат давления, которое человечество оказывает на окружающую среду, потребляя энергию», — говорит Содзэбуо Окаматсу, генеральный директор Бюро размещения промышленности и защиты окружающей среды ММТП. Поскольку промышленно развитые страны потребляют больше энергии, на них и лежит ответственность за распространение новых технологий, которые уменьшили бы последствия глобального потепления.

Японцы делают упор на экономии энергии, возобновляемые энергетические источники и безопасное использование атомных электростанций, но они считают также, что решение проблемы будет зависеть от новых технологий. Имея это в виду, японцы сосредоточили внимание на таких проектах, как улавливание диоксида углерода и превращение его в энергию посредством фотосинтеза, а также выращивание микроорганизмов для превращения биомассы в горючее. Япония питает большие надежды на такие технологии, как производство биологически разлагающихся пластмасс и создание заменителей хлорфторуглеродов, которые ответственны за разрушение стратосферного озона.

По мере разработки новых технологий их, как считает японская сторона, следует передавать другим странам. Однако не совсем даром. «Помощь, которую может оказывать правительство, имеет свои пределы», — говорит Окаматсу. Идея состоит в том, чтобы создать технологию такого уровня и по такой цене, которые бы соответствовали уровню развития «клиентов». Япония желает, чтобы страна-клиент «платила» за доступ к передовой технологии, делясь информацией об окружающей среде на своей территории и осуществляя самоконтроль, например в виде соответствующих законов.

Джон Эндикотт, директор Центра международной стратегии, технологии и политики при Технологическом институте шт. Джорджия, приветствует стремление японцев «играть большую роль в установлении мирового порядка», однако другие лица высказывают более осторожные мнения. В японском плане, замечает Генри Нау, профессор политологии и международных отношений в Университете Джорджа Вашингтона, «не нашли отражения институциональные и дипломатические процедуры». «А это, — добавляет он, — заставляет подозревать японцев в попытке извлечь выгоды из своего ведущего положения в сфере новых технологий».

Что касается официальных лиц в США, то они, как и раньше, уходят от того, чтобы оценивать технологические плюсы и минусы. Когда правительство высказывается в пользу какой-либо определенной технологии, это неизменно порождает проблему для рынка», — говорит Ричард Смит, заместитель помощника государственного секретаря. Как и следовало ожидать, Смит призвал провести анализ в международном масштабе, прежде чем принимать строгие меры. «Кое-кому это может показаться слишком осторожной политикой, — сказал он, — но разве лучше скомандовать «Готовься! Пли! Целься!»

Для таких инициатив как «Новая Земля 21» имеется прецедент в виде Монреальского протокола по ограничению производства хлорфторуглеродов. «Перед нами классическая ситуация, когда приходится выбирать между действием и бездействием в неопределенных условиях, — говорит Ричард Эллиот Бенедик, старший сотрудник Мирового фонда дикой природы. — И то и другое — риск».

Сталкивающиеся галактики

Грандиозные сближения галактик друг с другом, как оказалось, происходят довольно часто. Наблюдения и компьютерное моделирование показывают, что эти космические столкновения могут приводить к формированию эллиптических галактик и активизировать квазары.

ДЖОШУА БАРНЕС, ЛАРС ХЕРНКВИСТ, ФРАНСУА ШВЕЙЦЕР

ГАЛАКТИКИ, как и люди, не любят одиночества: они предпочитают объединяться в пары, небольшие группы и даже многочисленными компаниями. Например, наша Галактика — Млечный Путь — является членом так называемой Местной группы, в которую входят также известная Туманность Андромеды и еще около 20 менее крупных галактик. Обычно в подобных группах галактики разделены большими расстояниями, в 10 — 100 раз превосходящими их собственный диаметр. Однако под действием взаимного притяжения галактики движутся, проходя свой диаметр за каждые несколько сотен миллионов лет. Поэтому за время существования Вселенной — от 10 до 20 млрд. лет, согласно большинству космологических моделей, — столкновения между некоторыми галактиками оказываются неизбежными.

Лет десять назад многие астрономы не уделяли должного внимания частоте столкновения галактик и значению этого процесса. Но последние наблюдения, наряду с развитием теории и совершенствованием компьютерных моделей, показали, что такие столкновения должны быть значительно более распространенными, чем считалось раньше. Кроме того, появились свидетельства того, что сталкивающиеся галактики часто сливаются в объекты нового типа. Теперь мы начинаем все яснее понимать, что такие столкновения управляют эволюцией многих галактик и приводят к формированию множества необычных объектов, в том числе, возможно, и далеких квазаров сверхвысокой светимости.

Взаимодействие между галактиками происходит совсем не так, как между привычными нам предметами. Расстояния между звездами в галактике настолько велики, что даже при самых тесных сближениях галактик лишь несколько их звезд испытывают реальные столкновения. В некоторых крупных скоплениях галактики сбли-

жаются с очень большими скоростями — до нескольких тысяч километров в секунду, и все же проходят друг сквозь друга, почти не испытав повреждений.

Довольно странно, что если те же галактики будут сближаться со скоростью всего лишь несколько сотен километров в секунду, то они сильно «исковеркают» друг друга и скорее всего сольются через несколько сотен миллионов лет. На первый взгляд такое парадоксальное поведение отражает тот факт, что взаимодействие между галактиками управляется гравитационными силами. Чем медленнее происходит сближение двух галактик, тем больше времени гравитация возбуждает мощные, разрушающие приливы и тем более заметными становятся результирующие повреждения.

Происходящие дважды в сутки подъем и опускание поверхности Мирового океана иллюстрируют природу этих приливных сил. Океанские приливы возникают потому, что ближняя к Луне сторона Земли испытывает более сильное гравитационное притяжение, чем Земля в целом, в то время как обратная ее сторона притягивается слабее. В результате вода на ближней стороне устремляется к Луне, а вода на дальней стороне как бы отталкивается от нее; вот почему приливы бывают два раза в сутки. Точно так же и у галактики, находящейся в гравитационном поле близкого компаньона, появляются выступы как на ближней, так и на дальней сторонах.

Приливное взаимодействие галактик значительно более разрушительно, чем океанические приливы на Земле, поскольку галактики проходят значительно ближе друг к другу, чем Земля и Луна по сравнению с их собственными размерами. Если бы Луна обращалась вокруг Земли на расстоянии вдвое меньшем, чем сейчас, то сила гравитационного притяжения к ней возросла бы в четыре раза (поскольку она обратно пропорциональна ква-

драту расстояния). А разность между этими силами на ближней и дальней от Луны сторонах Земли, которая и определяет высоту приливов, увеличилась бы в восемь раз. Другими словами, приливные силы обратно пропорциональны кубу расстояния. При тесных сближениях приливные силы между двумя галактиками могут быть достаточно велики, чтобы полностью разорвать их.

НЕОБЫЧНЫЕ ГАЛАКТИКИ, окруженные узкими протяженными образованиями, названными хвостами и мостами, были хорошо известны начиная с 50-х годов. Длительное время эти объекты рассматривались как отклонения от нормы, и большинство астрономов не считало столкновения галактик распространенным явлением. В результате развития техники наблюдения и более глубокого понимания динамики галактик отношение к этой проблеме изменилось.

В 1983 г. с помощью Инфракрасного астрономического спутника IRAS было получено неожиданное доказательство широкой распространенности эффектов галактических столкновений. При обзоре неба в диапазоне от 25 до 100 мкм (это типичное инфракрасное излучение, испускаемое теплыми газопылевыми облаками) было обнаружено множество галактик, которые сияют в инфракрасных лучах значительно ярче, чем в видимых.

По-видимому, в этих галактиках происходят мощные вспышки звездообразования, в процессе которого огромное количество энергии выделяется в инфракрасном диапазоне. Столкновения между галактиками или их слияния могут провоцировать неожиданно бурное рождение звезд. Действительно, многие объекты, обнаруженные только потому, что их инфракрасные изображения проявились на картах низкого пространственного разрешения со спутника IRAS, при более глубоком изучении оказались взаимодействующими галактиками.

Высококонтрастные оптические наблюдения также показали, что даже некоторые внешне спокойные и правильные эллиптические галактики имеют признаки происшедшего когда-то слияния. В 1979 г., разрабатывая новые методы улучшения изображений на фотографических пластинках, Д. Мэлин из Англо-австралийской обсерватории в Новом Южном Уэльсе обнаружил гигантские слабые оболочки из светящегося вещества, окружающие на первый взгляд нормальные эллиптические галактики.

Этим открытием заинтересовались многие астрономы. Ранее было известно, что эллиптические галактики имеют гладкое распределение яркости. Кроме того, быстрые хаотиче-

ские движения звезд в эллиптической галактике должны были бы «размыть» любое зарождающееся уплотнение или упорядоченную деталь за время, приблизительно равное одной сотой возраста галактики. Ранее оболочкообразные структуры были замечены только вокруг некоторых особых галактик, которые могли сформироваться в результате слияния.

Для объяснения существования этих оболочек астрономы сразу же предложили несколько механизмов, включающих возбуждение ударных волн галактическим ветром, мощные галактические взрывы и аккрецию звезд в процессе слияния галактик. Только последняя гипотеза успешно выдержала проверку временем. Ударные волны и взрывы предполагают

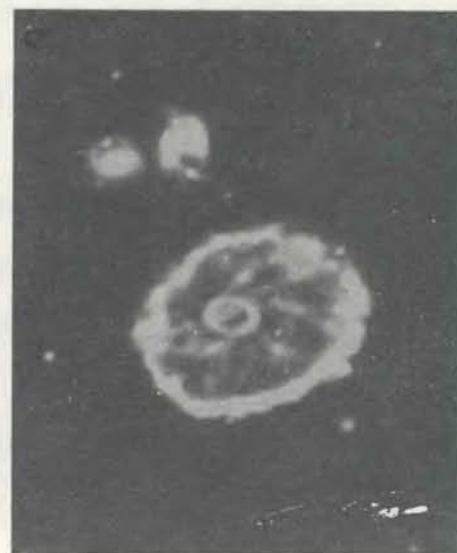
формирование оболочек из газа и горячих молодых звезд. Однако цвет и спектральные характеристики обнаруженных оболочек показывают, что они состоят преимущественно из звезд с возрастом от нескольких миллиардов лет до 10 млрд. лет, очень напоминающих звезды в дисках спиральных галактик.

Резкие края оболочек указывают на то, что составляющие их звезды не участвуют в бурном хаотическом движении, характерном для звезд эллиптических галактик. Следовательно, звезды оболочек родились в галактиках с относительно малыми внутренними хаотическими скоростями. Только модели, в которых предполагается захват звезд из высокоупорядоченных галактик, могут объяснить удиви-



В ПЛОТНЫХ ГРУППАХ галактик, гравитационно связанных одна с другой, по-видимому, происходит их постоянное взаимодействие. Показанная компьютерная модель строилась из шести независимых галактик. В ходе моделирования в двух парах дисковые галактики разрушили друг

друга в результате приливного взаимодействия, выбросив длинные хвосты из звезд и газа. В конечном итоге все шесть галактик сольются в единый объект. Такое групповое взаимодействие может быть одним из механизмов формирования крупных эллиптических галактик.



СТОЛКНОВЕНИЯ ГАЛАКТИК приводят к возникновению огромного многообразия сложных структур. Великолепный спиральный узор галактики М51, называемой Водоворотом, возник в результате пролета вблизи нее другой небольшой галактики (а). В системе NGC 3808 звезды, газ и

пыль перетекают с крупной спиральной галактики на ее соседку (б). Два кольца из звезд образовались у галактики Тележное колесо после того, как один из ее компаньонов пролетел прямо сквозь галактический диск (с). Столкновения между близкими по массе галактиками приводят к раз-

тельные геометрические рисунки вокруг таких галактик, как Агр 230 и NGC 3923.

В ходе других исследований эллиптических галактик обнаружилось дополнительные признаки слияния, происходящего в современную эпоху. Например, у некоторых эллиптических галактик центральные области вращаются в одну сторону, а внешние — в другую. Такую картину встречного вращения трудно объяснить, если эти галактики сформировались полностью из одного фрагмента, но она логично объясняется как результат слияния. Одним из первых примеров наблюдаемых галактик с встречным вращением была NGC 7252, наверняка являющаяся продуктом слияния.

Оболочки должны оставаться видимыми по крайней мере в течение нескольких миллиардов лет, и это делает их более устойчивыми «индикаторами» эффектов слияния, чем ярко выраженные приливные детали. Мы с нашими коллегами обнаружили сла-

бые оболочки вокруг почти половины эллиптических галактик, наблюдавшихся до сих пор, и даже вокруг некоторых дисковых галактик, имеющих большие центральные звездные конденсации — балджи. Распространенность оболочек доказывает, что столкновение между галактиками должно быть довольно частым явлением.

Это подтверждается новыми результатами в изучении структуры галактик. Исследователи обнаружили, что динамика галактик определяется не только видимыми светящимися звездами и газовыми облаками, но и гало из невидимого «темного» вещества, которые, вероятно, представляют большую часть полной массы галактик (см. статью: Вера К. Рубин. Невидимое вещество в спиральных галактиках, «В мире науки», 1983, № 8). Темное вещество не наблюдается, и его присутствие может быть обнаружено только благодаря эффектам гравитации.

Из-за темного вещества галактики

на самом деле могут быть в 10 раз крупнее и массивнее, чем кажутся, что намного увеличивает вероятность их столкновений. Кроме того, в процессе тесного сближения галактик вещество темного гало «отбирает» у них большой угловой момент, чем существенно облегчается их взаимное сближение и последующее слияние.

ДАЖЕ КОГДА было накоплено достаточно данных наблюдений для доказательства столкновения галактик, компьютерные модели помогли более точно представить, что происходит в процессе таких столкновений. Первые модели, созданные в начале 70-х годов А. Тумре из Массачусетского технологического института и Дж. Тумре из Нью-Йоркского университета, показали, что протяженные волокнообразные структуры образуются, когда тонкий вращающийся диск из звезд подвергается влиянию сильных приливов со стороны ближайшего соседа (см.: Alar and Juri Toomre. Violent Tides between Gala-



ПРАВИЛЬНЫЕ ОБОЛОЧКИ из звезд вокруг эллиптических галактик могут возникнуть в результате столкновений. На последовательных фрагментах компьютерной модели

видно, как небольшая, сначала сферическая галактика (голубая) разрушается гравитационным полем более крупной эллиптической галактики (красная область). Из звезд не-



рушению исходной структуры каждой из них. Антенны (*d*) состоят из двух дисковых галактик, гравитационное взаимодействие которых привело к выбросу двух хвостов, каждый длиной несколько сотен тысяч световых лет. В NGC 520 две столкнувшиеся галактики выглядят полностью пе-

реплетенными (*e*). Такое тесное сближение, вероятно, превращает их в единый, беспорядочно слившийся галактический конгломерат, подобный NGC 7252 (*f*), который в итоге может перейти в спокойное состояние и превратиться в эллиптическую галактику.

xies, "Scientific American", December 1973).

Приливные силы «выдергивают» звезды с ближней стороны этого диска, создавая мост (который, вопреки своему названию, на самом деле редко связывает диск с другой галактикой), и выталкивают звезды с противоположной стороны диска, создавая длинный хвост.

В зависимости от типа галактики и геометрии взаимного сближения столкновение может приводить также к появлению спиральных рукавов, множества фрагментов, вращающихся перпендикулярно галактической плоскости, к возникновению звездных или газовых колец и всевозможных типов светящихся волокон и отростков. Особый интерес вызывают некоторые галактики с явными признаками двух столкнувшихся под действием приливных сил партнеров, несмотря на наличие лишь одного бесформенного скопления звезд.

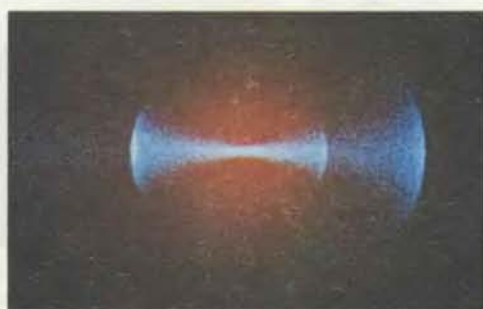
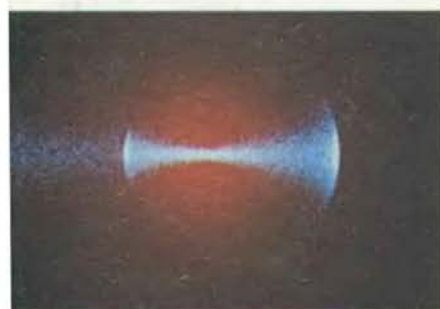
Чтобы лучше понять происхождение и эволюцию взаимодействующих

систем, требуется значительно более сложное математическое описание, чем то, которое было сделано в ранних моделях Тумре. В примерах, приведенных в данной статье, каждая галактика моделируется как система из 44 000 массивных точек; одни из них представляют темное вещество, а другие — звезды и газ (см. рисунок на с. 18). Компьютер вычисляет траекторию каждой массивной точки, как если бы она двигалась под взаимным влиянием гравитационного поля всех остальных точек. Такое детальное моделирование стало возможным только с появлением эффективного программного обеспечения и мощных суперкомпьютеров.

Один из наиболее важных результатов, полученных нами с помощью новых моделей, заключается в том, что взаимодействующие галактики имеют очень сильную тенденцию к слиянию. Например, мы моделировали две галактики, сближающиеся со скоростью, соответствующей свободному падению друг на друга с большого

расстояния. Здравый смысл подсказывает, что после их столкновения эти скорости должны были бы развести галактики на столь же большие расстояния. Однако происходит совсем иное. Галактики стали двигаться друг вокруг друга по сжатым орбитам и вскоре после второго столкновения окончательно слились. Весь процесс занял несколько сотен миллионов лет.

Исследователи полагали, что приливные эффекты должны нарушать орбитальное движение, поскольку каждая из галактик притягивается к приливным выступам, которые сама же «вытягивает» у своего партнера. Однако лишь немногие астрономы верно оценивали то огромное влияние, которое может оказать типичное сближение галактик на их орбитальное движение. Скорость изменения орбит оказалась особенно велика, когда было учтено гравитационное взаимодействие между протяженными гало их темного вещества, окружающего галактики.



большой галактики формируется серия оболочек, которые со временем начинают тускнеть, но становятся все более многочисленными. Подобные оболочки наблюдаются во-

круг многих реальных эллиптических галактик, например NGC 474, изображение которой приведено здесь в условных цветах (крайнее справа).

Компьютерные модели, созданные в начале 80-х годов Куином из Австралийского национального университета, подтвердили, что наблюдаемые вокруг многих галактик оболочки могут быть последствием слияний. Эти модели продемонстрировали, что приливные силы сначала деформируют, а затем и разрушают галактику-спутник, которая сближается со своим более крупным соседом. Теряя энергию орбитального движения, большая часть вещества разрушенной галактики захватывается на жестко связанные орбиты вокруг более массивной галактики. Если у галактики-спутника с самого начала внутренние хаотические движения слабы, то ее вещество некоторое время будет двигаться упорядоченно. Именно поэтому захваченные более массивной галактикой звезды могут образовывать крупные упорядоченные структуры.

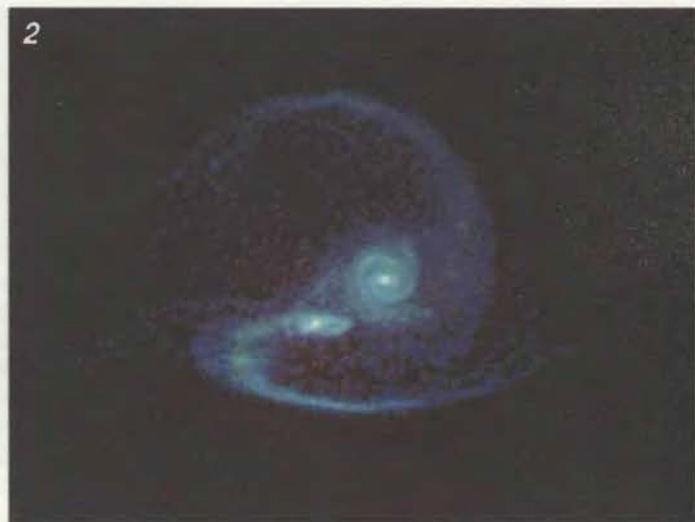
Если захваченным спутником ока-

зывается сжатый диск, то гравитационное поле более массивной галактики стремится изогнуть его и свернуть в искривленную поверхность. При наблюдении с Земли края такой поверхности кажутся вытянутыми и поэтому выглядят более яркими. Со временем спутник «обвивается» вокруг главной галактики, порождая все новые тонкие изогнутые слои звезд и связанные с ними новые оболочки.

В действительности не существует абсолютно тонких галактик. Компьютерные модели показывают, что небольшие хаотические движения, ответственные за утолщение реальных спиральных галактик, могут приводить к некоторому размыванию оболочек, хотя в целом их видимость при этом сохраняется. В наших моделях даже у остатков небольших сферических галактик могут формироваться оболочки, когда происходит слияние галактик одинакового размера. Степень их размывания определяется

структурой меньшей галактики-жертвы. Поэтому наблюдения оболочек можно использовать для оценки свойств галактик, из которых они сформировались. Большое разнообразие оболочек, даваемое компьютерными моделями, кажется вполне достаточным для объяснения оболочек, наблюдаемых вокруг эллиптических галактик.

Моделирование позволяет также получить представление о природе целого класса пекулярных (необычных) галактик, известных как галактики со вспышкой звездообразования. На эти объекты впервые обратили внимание из-за характерного цвета. В 1978 г. Р. Ларсон и Б. Тинсли из Йельского университета показали, что взаимодействующие галактики имеют тенденцию быть голубее остальных. Эти «голубые» галактики (у них действительно довольно нежные цвета) обязаны своей окраской присутствию в них большого числа недавно сформирова-

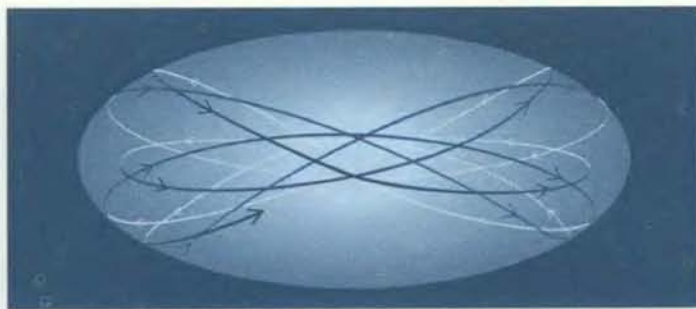


КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ сближения двух дисковых спиральных галактик показывает, как гравитационные силы могут преобразовывать эти объекты. Когда галактики приближаются друг к другу, гравитационные приливы порождают длинные мосты и хвосты. После второго сближе-

ния галактики начинают объединяться. Диск каждой галактики (сине-зеленый) окружен гало из темного вещества, которое играет важную роль в их гравитационном взаимодействии. Модель разработана в Питтсбургском центре суперкомпьютеров.



СПИРАЛЬНЫЕ И ЭЛЛИПТИЧЕСКИЕ галактики имеют очень разную структуру. В дискообразных спиральных системах звезды движутся вокруг общего центра по почти круговым орбитам, лежащим в одной плоскости (слева).



Эллиптические системы не имеют плоскостной структуры: значительная часть их звезд движется вперед-назад вдоль большой оси галактики (справа).

ровавшихся звезд. Ларсон и Тинсли пришли к выводу, что взаимодействующие галактики подверглись вспышке звездообразования не более чем 100 млн. лет назад, что составляет около 1% возраста типичной галактики. Цвета взаимодействующих систем постепенно блекнут и возвращаются к нормальным.

Звезды формируются в массивных газопылевых облаках. Эти облака поглощают большую часть видимого света, испускаемого яркими молодыми звездами, и переизлучают эту энергию в виде более длинноволнового инфракрасного излучения. Ожидалось, что наблюдения с помощью инфракрасных телескопов позволят обнаружить скрытые места звездообразования. Но, несмотря на это, астрономы были потрясены, когда с помощью спутника IRAS они открыли класс галактик, которые более 99% энергии излучают в инфракрасном диапазоне. На оптических фотографиях обнаружилось, что многие из галактик являются взаимодействующими системами и окружены хвостами и мостами, протянувшимися от ближайших соседей. Другие выглядят как уже полностью слившиеся галактические конгломераты.

Испускаемое такими галактиками огромное количество инфракрасного излучения указывает на то, что звезды формируются в них с невероятной скоростью. В некоторых галактиках со вспышкой звездообразования в год формируется несколько сотен звезд, тогда как в Млечном Пути в среднем рождается всего лишь две-три звезды ежегодно. Область, в которой интенсивно формируются звезды, обычно находится в центральной части галактики, размером не более десятой части ее диаметра. В центральных областях многих инфракрасных галактик с помощью радиотелескопа миллиметрового диапазона были зарегистрированы огромные газовые облака. Они достаточно массивны, чтобы поставлять вещество для наблюдаемого

там активного звездообразования в течение нескольких сотен миллионов лет.

Астрономы, изучающие галактики со вспышкой звездообразования, естественно, были удивлены: откуда появились эти центральные газовые облака? Содержание газа в них сравнимо с его полным количеством в типичной спиральной галактике. Но как весь газ галактики собирается в ее небольшой центральной области? Сохранение углового момента заставляет вращающиеся газовые облака, когда они сжимаются, вращаться еще быстрее. Чем быстрее вращение, тем больше центробежное ускорение, которое препятствует движению газа к центру. Например, межзвездный газ Млечного Пути вращается настолько быстро, что находится в равновесии с гравитационными силами, притягивающими его к центру Галактики. Поэтому он не может быть собран в середине нашей Галактики, если только какой-нибудь «тормоз» не замедлит его движения.

Компьютерные модели разрешили эту загадку, показав, что необходимый для этого тормоз может появиться в процессе взаимодействия галактик. Когда приливные силы деформируют галактический диск, звезды и газ уже не могут двигаться синхронно. В «искореженной» галактике потоки звезд свободно проникают друг сквозь друга. Но потоки газа сильно взаимодействуют между собой и порождают спиральную структуру из мощных ударных волн. При этом гравитационное поле звезд стремится «отобрать» угловой момент у сталкивающихся газовых облаков, вынуждая их сжиматься.

Позже, когда две галактики начинают сливаться, оставшийся в дисках газ может сталкиваться со скоростью в несколько сотен километров в секунду, образуя очень мощные ударные волны. Очевидно, что некоторые звезды формируются непосредственно из газа, сжатого в этих волнах. Но

большая часть газа, уже собравшегося в центре каждой из галактик, опускается по спирали к центру слившейся пары, где он может стать источником значительно более сильной вспышки звездообразования.

Наблюдения наиболее ярких инфракрасных галактик наводят на мысль о том, что мощное излучение выходит не только из областей звездообразования, но и из компактного центрального источника, энергия в котором, возможно, выделяется при падении вещества на массивную черную дыру. Черные дыры с массами, в несколько миллиардов раз превосходящими солнечную, вероятно, являются источниками активности квазаров — наиболее удаленных и ярких объектов во Вселенной (см. статью: Тьерри Ж.-Л. Курвуазье, Ян Робсон. Квазар 3С 273. «В мире науки», 1991, № 8).

Изолированная черная дыра не проявляет наблюдаемых признаков своего присутствия. Но вещество, приблизившееся к черной дыре, начинает падать на нее по спирали и, прежде чем навсегда исчезнуть, успевает сильно нагреться и испустить большое количество излучения. Газовые облака, оказавшиеся в центре при слиянии дисковых галактик, могут быть тем самым веществом, которое активизирует черную дыру.

Некоторые близкие квазары в действительности выглядят как взаимодействующие или слившиеся системы. В свою очередь, столкновения галактик часто связаны с различными типами галактической активности, включая сейфертовские галактики (они выглядят как дисковые галактики, в ядре у которых находится миниквазар) и радиогалактики (эллиптические системы, окруженные гигантскими областями радиоизлучения). Многие астрономы считают, что все эти высокоэнергетичные объекты являются возмущенными галактиками, в которых вещество падает на массивную центральную черную дыру. Квазары, сейфертовские галакти-

ки и радиогалактики могут сильно различаться по массе черной дыры и скорости, с которой вещество падает на нее.

Попадания газовых облаков в центральную область галактики, где они обуславливают наблюдаемые вспы-

шки звездообразования, недостаточно для захвата этого газа в окрестности центральной черной дыры. Чтобы быть «проглоченным» центральной черной дырой с массой в 1 млн. солнечных масс, этот газ должен еще дополнительно сжаться в 10 млрд.

раз. И вновь угловой момент газа препятствует этому сжатию.

Потребуются более детальные компьютерные модели, чтобы выяснить механизмы торможения, которые бы давали возможность газу падать в самую сердцевину галактики — туда, где находится черная дыра. Тем не менее рассматриваемая теория столкновения галактик может привести к созданию единой модели, объясняющей наблюдаемые свойства широкого круга активных и пекулярных галактик.

СТОЛКНОВЕНИЯ ГАЛАКТИК могут также объяснить происхождение и эволюцию эллиптических галактик — значительно более многочисленного, хотя и не столь эффективного класса объектов. Этот один из основных типов галактик почти столь же распространен, как и более «фотогеничные» спиральные системы. Происхождение эллиптических галактик — один из важнейших вопросов, стоящих сейчас перед астрофизикой. Эллиптические галактики встречаются повсюду во Вселенной, но они проявляют тенденцию концентрироваться в гигантских скоплениях, насчитывающих до тысячи членов. Их параметры очень разнообразны: от гигантских систем, светимость которых в 10 раз выше, чем Млечного Пути, до слабых карликовых эллиптических галактик, таких, как спутники Туманности Андромеды (М31), светимость которых в 100 раз ниже, чем нашей Галактики.

Эллиптические системы принципиально отличаются от спиральных. Спиральные галактики — это дискообразные объекты, как правило, богатые газом и содержащие множество молодых звезд в периферийных областях. Эллиптические галактики, напротив, — это почти лишенные каких-либо деталей звездные конгломераты, имеющие только следы холодного межзвездного газа и если и содержащие, то лишь ничтожно малое число молодых звезд. Почти весь их свет излучается звездами, возраст которых оценивается в несколько миллиардов лет. В динамике эллиптических спиральных систем существуют достаточно четкие различия. Орбиты звезд в дисковых галактиках высокоупорядоченны, и все они лежат более или менее в одной плоскости. Звезды же, составляющие эллиптическую галактику, движутся по всевозможным, хаотически ориентированным орбитам.

На основе этих фундаментальных различий Алар и Джури Тумре в 1972 г. высказали предположение, что эллиптические галактики — это слив-



СКОПЛЕНИЯ ГАЛАКТИК различаются по форме, плотности и составу галактик. Скопление в Геркулесе (*вверху*) имеет неправильную форму и содержит множество взаимодействующих дисковых галактик. Напротив, скопление в Волосах Вероники (*внизу*) — плотное, сферическое и богато яркими эллиптическими галактиками. Большое число эллиптических систем, вероятно, указывает на то, что в этом скоплении произошло много слияний.

шнеся остатки столкнувшихся дисковых галактик. Гипотеза слияния медленно подверглась критике. Было высказано на первый взгляд убедительное замечание, что сильные вариации гравитационного поля, возникающие при столкновении и слиянии двух галактик, могут хаотически перемещать орбиты звезд, а это делает невозможным их объединение в компактную систему. Однако тогда еще не было доказательства, что слившиеся конгломераты точно похожи на эллиптические галактики. Кроме того, многие свойства этих галактик объяснялись в рамках традиционной гипотезы их формирования из медленно вращающихся газовых облаков, которые охладились и сжались в течение 1—2 млрд. лет после Большого взрыва.

Вернемся к гипотезе Тумре. Ее авторы отмечали, что дисковые галактики одинакового размера должны сливаться относительно часто (по космическим масштабам). За время эволюции Вселенной должно было накопиться большое число продуктов таких слияний, сравнимое с полным числом эллиптических галактик. Для проверки своей гипотезы Тумре изучили 4000 галактик, среди которых они обнаружили 11 объектов, либо имеющих пару хвостов, протянувшихся от единого бесформенного тела, либо содержащих пару близких или сильно взаимодействующих дисковых галактик. Первые из этих объектов, вероятно, слились в течение последних 500 млн. лет, а вторые должны слиться в ближайшие 500 млн. лет.

Если в течение прошедших 10—20 млрд. лет дисковые галактики сливались с такой же частотой, как в современную эпоху, то следовало бы ожидать по крайней мере 100 остатков слияния среди 4000 исследованных галактик. Фактически в выборке Тумре содержалось около 400 эллиптических галактик. Если же частота слияний в прошлом была хотя бы немного выше, то столкновениями галактик можно объяснить происхождение всех эллиптических систем. И напротив, если остатки слияний не превратились в эллиптические галактики, то куда же они исчезли?

Итак, более глубокое понимание динамики эллиптических галактик позволяет лучше представить, как они формировались при слиянии. Астрономы долго считали, что овальная форма эллиптических галактик объясняется их вращением. Но в 1975 г. Ф. Бертола и М. Капачиоли из Университета в Падуе сообщили, что гигантская сплюснутая эллиптическая галактика NGC 4697 вращается с мак-



МОЩНОЕ РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ испускается галактикой 3C 353. Такие радиогалактики, как и другие активные галактики и квазары, могут быть взаимодействующими системами, содержащими в центре массивную черную дыру. В результате гравитационного взаимодействия большое количество вещества направляется в центральную область. Когда это вещество достигает черной дыры, в центре галактики происходит вспышка активности. Синим цветом показана видимая форма галактики, красным — ее изображение в радиолучах.

симальной скоростью всего 60 км/с. По-видимому, не вращение галактики, а распределение звездных орбит ответственно за ее сплюснутость. И именно слияние может привести к такому асимметричному распределению звезд; эта возможность заметно приободрила ученых, моделирующих на компьютере взаимодействие галактик.

В первых работах по моделированию процесса слияния изучалось простое взаимодействие между сферическими галактиками. Хотя в деталях эти модели существенно отличались от рассматриваемых в нашей статье более реалистических моделей дисковых галактик, они позволили понять важнейшие эффекты при слиянии галактик. Когда поверхностную яркость эллиптических галактик изображают как функцию расстояния от их центра, всегда получают кривые приблизительно одинаковой формы. В конце 70-х годов С. Уайт из Кембриджского университета показал, что в процессе слияния всегда должны возникать объекты с профилем яркости, очень похожим на профили эллиптических галактик. В дальнейших исследованиях было установлено, что этот характерный профиль яркости возникает всегда, когда галактика эволюционирует в сильно переменном гравитационном поле.

В ранних компьютерных экспериментах галактики моделировались с использованием всего нескольких сотен частиц. Такие модели позволяли изучать некоторые особенности поведения сферических галактик, но для

моделирования вращающегося диска требуются многие тысячи частиц. До середины 80-х годов не было возможности проверить предположение о том, что две дисковые галактики при слиянии могут образовать единый объект со свойствами эллиптической галактики. В проведенных недавно нами и другими группами исследователей численных экспериментах продукты слияния галактик имели профиль яркости, форму и медленное вращение такие же, как у типичных крупных эллиптических галактик.

ГИПОТЕЗА СЛИЯНИЯ предсказывает определенную взаимосвязь между свойствами эллиптической галактики и тех дисковых галактик, из которых она сформировалась. По мере проведения новых расчетов и наблюдения новых галактик появляется возможность все более детального сравнения свойств продуктов слияния и нормальных эллиптических галактик. Таким образом, астрономы проверяют обоснованность гипотезы слияния и определяют, насколько широко она может применяться.

Не все особенности эллиптических галактик можно объяснить их слиянием из обычных дисковых галактик. Например, яркие эллиптические системы вращаются медленно, а слабые — нет. Но процесс слияния нечувствителен к масштабу, поэтому непонятно, почему яркие продукты слияния должны вращаться не так, как слабые. Такие небольшие эллиптические системы плохо описываются в рамках гипотезы слияния, поскольку для них

не удается найти подходящих «предков».

Скорости сближения между карликовыми эллиптическими галактиками велики по сравнению с их внутренними скоростями, поэтому, если эти карлики когда-нибудь и сливаются, то это происходит очень редко. Все эти факты означают, что наиболее мелкие эллиптические системы формируются не путем слияний или эти слияния происходят в существенно иных условиях, чем у крупных эллиптических галактик. Одно старое, но довольно шаткое предположение состоит в том, что некоторые карлики являются фрагментами приливных хвостов, вытянувшихся в процессе сближения дисковых галактик.

В действительности мы имеем очень мало прямых указаний на то, в каких условиях формировались даже яркие эллиптические галактики. Наиболее крупные из них находятся в богатых, «правильных» скоплениях галактик, таких, как Волосы Вероники (Сомы). Эти группировки состоят из сотен и даже тысяч галактик, собранных в более или менее сферической форме. Как правило, в таких скоплениях столкновений не происходит, и слияния наблюдаются крайне редко, поскольку галактики движутся относительно друг друга так быстро, что не имеют шансов слиться. Большинство слияний в этих скоплениях должно было происходить в период их формирования. Правильная форма и высокая центральная плотность этих галактических группировок указывают на то, что они должны были сформироваться в течение первых нескольких миллиардов лет после Большого взрыва.

Астрономы пока не могут заглянуть так далеко в пространстве и во времени, чтобы увидеть богатые скопления галактик в период их формирования, но они в состоянии обнаружить вблизи Земли те условия, при которых подобные процессы формирования происходят сегодня. Крупнейшие эллиптические галактики должны были родиться при неоднократном слиянии множества дисковых галактик. Такие множественные слияния наблюдаются в тесных группах, содержащих обычно 4—5 взаимодействующих галактик. Численное моделирование показывает, что галактики в этих группах сливаются друг с другом за несколько миллиардов лет, всегда образуя массивный конгломерат, похожий по своей структуре на эллиптическую галактику.

Некоторые скопления галактик содержат именно такие тесные группы и поэтому, вероятно, напоминают богатые скопления, «застигнутые» в

период их формирования. Эти скопления имеют неправильную форму, у них нет определенного центра, и, как правило, доля спиральных галактик у них значительно больше, чем у богатых скоплений. Даже при беглом взгляде на неправильное скопление в Геркулесе обнаруживается большое число пар взаимодействующих галактик. Через несколько миллиардов лет многие из этих пар, вероятно, сольются. Между тем само скопление будет непрерывно эволюционировать, становясь все менее клочковатым и более сферическим. В результате этих процессов оно станет похожим на правильные скопления, богатые эллиптическими галактиками.

Если эллиптические системы в богатых скоплениях сформировались путем многократного слияния, то это могло произойти только в эпоху, когда возраст Вселенной был существенно меньше нынешнего. Участвовавшие в этом галактики могли иметь тогда еще «незрелую» по сравнению с наблюдаемой в настоящее время форму, содержали значительно больше газа и, вероятно, отличались по своему звездному составу. Поэтому эллиптические галактики в скоплениях могут оказаться теми реликтами, которые сохранили в себе некоторые качества «юных» галактик, из которых они сформировались.

Возможно, этим объясняется то, что некоторые массивные эллиптические галактики окружены невероятно большим числом шаровых скоплений — плотных сферических конгломератов, содержащих до миллиона звезд и чем-то похожих на карликовые эллиптические галактики. В далеком прошлом шаровые скопления мо-

гли быть более распространены внутри исходных галактик, из которых сформировались эллиптические системы; к нашему времени часть шаровых скоплений распалась на отдельные звезды. Впрочем, возможно и то, что новые шаровые скопления формируются в процессе слияния галактик.

В ранней Вселенной квазаров было значительно больше, чем в современную эпоху (см. статью: Мартин Дж. Рис. Черные дыры в центрах галактик, «В мире науки», 1991, № 1). Как было показано выше, слияние галактик может активизировать квазары или квазароподобные объекты. Если эллиптические галактики в скоплениях действительно сформировались в результате столкновения, то в основном это должно было происходить на ранних стадиях эволюции Вселенной, до формирования самых богатых скоплений. В таком случае высокой частотой слияния галактик можно объяснить и большое число квазаров, обнаруженных астрономами при исследовании очень далеких, т.е. очень молодых областей Вселенной.

Пока еще мы не в состоянии проверить гипотезу о том, что далекие квазары возникали во взаимодействующих галактиках. За исключением нескольких близких объектов, ослепительное сияние ядер квазаров почти полностью скрывает окружающие их структуры. Но поскольку техника наблюдений и компьютерные модели все более совершенствуются, в конце концов мы сможем выяснить связь между этими необычно активными объектами, озадачившими целое поколение астрономов, и формированием галактик.

Наука и общество

Положительный ответ

ПРИ ЗАРАЖЕНИИ человека вирусом, вызывающим СПИД (HIV; от англ. human immunodeficiency virus — вирус иммунодефицита человека), иммунная система организма пытается бороться с инфекцией, вырабатывая антитела. Однако это, как правило, не приносит успеха, и вирус продолжает размножаться, мало-помалу выводя из строя ключевые элементы иммунной системы — клетки, называемые Т4-лимфоцитами.

Неудивительно, что большое внимание привлекло опубликованное в журнале «New England Journal of Medicine» сообщение исследователей из Армейского научно-исследовательского института Уолтера Рида о предварительных испытаниях вакцины против СПИДа, созданной путем генной инженерии в фирме MicroGeneSys, Inc. в Меридене (шт. Коннектикут). Из 30 испытуемых добровольцев с инфекцией HIV в ранней стадии у 19 эта вакцина стимулировала не только образование антител, но

и специфичный Т-клеточный иммунный ответ на белок, входящий в состав вакцины.

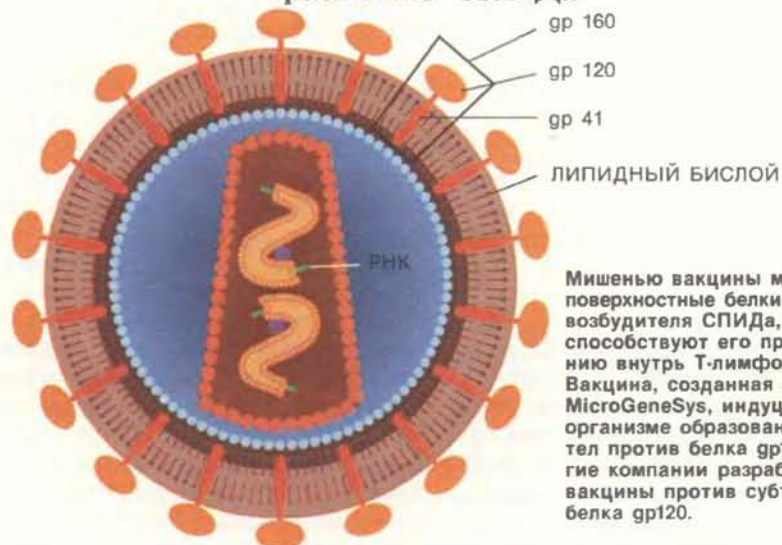
Эти данные впервые демонстрируют усиление иммунного ответа при инфекции HIV. Но авторы исследования и другие специалисты спешат подчеркнуть, что целью испытаний было пока лишь установление безопасности вакцины и самого факта ее действия. «Даже при самом безудержном полете фантазии это никак нельзя считать прорывом в поисках средств лечения СПИДа, — говорит директор Национального института аллергических и инфекционных заболеваний А. Фоси. — Неизвестно даже, эффективна ли вакцина и можно ли ее использовать в медицинской практике».

Тем не менее результаты испытаний являются убедительным свидетельством того, что при помощи вакцины можно задержать развитие СПИДа. Вакцины обычно используют для предотвращения инфекции, а не для ее подавления в уже зараженном организме. (Исключение составляет вакцина против бешенства, которая вводится уже после укуса больным животным.) Идея иммунизации против СПИДа после заражения была предложена в 1987 г. Дж. Солком, который создал первую вакцину против полиомиелита. Однако многие специалисты считали маловероятным, что вакцинация на фоне инфекции HIV может быть эффективной против развития заболевания.

Результаты упомянутых испытаний опровергают подобные сомнения. «Помимо всего прочего мы надемся, что в научных кругах поубавится скептицизма и в работу включится больше исследователей», — сказал Р. Редфилд, руководивший этими испытаниями (см. также статью: Р. Редфилд, Д. Берке. Клиническая картина инфекции вирусом СПИДа, «В мире науки», 1988, № 12). Шести испытуемым, у которых не наблюдалось специфичного иммунного ответа, делали дополнительную вакцинацию, после чего, по словам Редфилда, у них развивался усиленный иммунный ответ, направленный против HIV.

Фоси считает весьма обнадеживающим тот факт, что у тех испытуемых, у которых развивался специфичный иммунный ответ (для чего, как правило, требовались достаточно частые инъекции вакцины), наблюдалось замедление исчезновения Т4-лимфоцитов. Притом, чем лучше было исходное (т. е. на момент начала испытаний, продолжавшихся 250 суток) состояние иммунной системы, тем более выраженным был иммунный от-

Как вакцины могут помешать развитию СПИДа



Мишенью вакцины могут быть поверхностные белки вируса — возбудителя СПИДа, которые способствуют его проникновению внутрь Т-лимфоцитов. Вакцина, созданная в фирме MicroGeneSys, индуцирует в организме образование антител против белка gp160. Другие компании разрабатывают вакцины против субъединицы белка gp120.

вет; это свидетельствует о подлинности наблюдаемой реакции. В настоящее время ведутся более обширные клинические испытания с целью оценки терапевтического эффекта.

Разработка вакцин против СПИДа идет по двум основным направлениям. Одно из них сосредоточилось на индукции в организме антител против белка оболочки HIV, обозначаемого gp 120. Этот белок экспонирован на поверхности вирусной частицы и связывается с имеющимися на клеточной мембране Т4-лимфоцитов молекулами, обозначаемыми CD4, благодаря чему вирус проникает внутрь клетки. В другом направлении исследований за цель взят белок «сердцевины» HIV, который располагается внутри вирусной частицы и присутствует на поверхности некоторых зараженных клеток.

Вакцина, созданная в фирме MicroGeneSys, основана на гликопротеине оболочки HIV, обозначаемом gp 160, который содержится в незрелых вирусных частицах и впоследствии расщепляется с образованием белков gp 120 и gp 41. Редфилд отмечает, что в результате вакцинации в 70% случаев развивается Т-клеточный ответ, который редко наблюдается при естественной инфекции. По его мнению, важно, что у 19 испытуемых, у которых наблюдался иммунный ответ на вакцину, вырабатывались антитела, узнающие участки молекулы gp 160, на которые у зараженных HIV иммунный ответ обычно не возникает. Более того, некоторые антитела были эффективны против ряда различных штаммов HIV in vitro.

Эти наблюдения свидетельствуют о том, что вакцина «предъявляет» иммунной системе белок gp160 иначе, чем сам вирус. «Привлекает то, что,

по-видимому, можно расширить иммунный ответ», — подчеркивает специалист по СПИДу Дж. Группман из Больницы дьякониц Новой Англии.

Сейчас проходят многочисленные испытания вакцин, и в ближайшие два года появятся новые данные. Вакцины на основе белков HIV, получаемые путем геной инженерии, создаются также в компаниях Chiron Corporation и Genentech, Inc. Фирма Repligen Corporation в сотрудничестве с Merck & Company разрабатывает вакцину на основе синтетического фрагмента белка gp120. По сообщению Э. Эрмни из компании Merck, в экспериментах на шимпанзе эта вакцина обеспечивала защиту от инфекции HIV.

Ряд компаний сосредоточил усилия на сердцевинных белках вируса. В состав вакцины фирмы MicroGeneSys помимо gp160 входит белок сердцевины HIV p24. А. Голдстейн из Университета Джорджа Вашингтона полагает, что вакцина не будет эффективной, если не содержит сердцевинных белков, так как они стимулируют иммунную систему организма к уничтожению зараженных клеток. Основная Голдстейном компания Alpha I Biomedicals, Inc. участвует в очень обнадеживающих, по его словам, клинических испытаниях вакцины на основе сердцевинного белка HIV, которые проводятся в Лондоне с привлечением незараженных добровольцев. В Солковском институте биологических исследований испытывается вакцина, полученная из убитых вирусных частиц.

Как предполагает Фоси, иммунизация после заражения может оказаться эффективной и при других хронических инфекционных заболеваниях — туберкулезе, проказе, гепатите.

Теломера человека

Эта специализированная ДНК, присутствующая на концах хромосом, не содержит генов, но очень важна для сохранения хромосом в ряду поколений

РОБЕРТ К. МОЙЗИС

БОЛЕЕ 50 ЛЕТ назад лауреат Нобелевской премии Г. Мюллер высказал предположение, что концевые сегменты хромосом играют важную роль. Задолго до того, как было установлено, что ДНК в хромосомах имеет двухцепочечную спиральную структуру и содержит гены, он понял, что материал на концах хромосом предохраняет их от разрушения. Мюллер назвал эти концевые структуры теломерами (от греческого *telos* — конец, *meros* — часть, доля).

Многие годы о теломерах больше ничего не было известно. Наконец, около 10 лет назад началась расшифровка структуры теломер у различных видов организмов. Однако теломера человека долго оставалась неизученной.

Теперь ее структура уже не тайна. Несколько лет назад мои коллеги и я в Лос-Аламосской национальной лаборатории разработали новые экспериментальные подходы, которые позволили клонировать теломеру человека, установить ее последовательность нуклеотидов (мономеров, из которых построена ДНК) и глубже исследовать ее пространственную структуру и функцию в клетке.

В ходе нашей работы нам удалось подтвердить, что теломера, которая не содержит генов, совершенно необходима для сохранения хромосом в ряду поколений. Этот результат, несомненно, подтверждает все более укрепляющееся предположение о том, что участки хромосом, не содержащие генов, часто играют важную роль в клетке, хотя и не кодируют аминокислотные последовательности белков организма. (Белки абсолютно необходимы для всех жизненных процессов.) Ясно, что для понимания функционирования хромосом и индивидуальных генов необходимо идентифицировать нуклеотидные последовательности не только генов, но также и многочисленных негенных участков. Предстоит также установить, каким образом различные участки хромосом взаимодействуют друг с другом.

Клонирование теломеры человека уже сейчас имеет большое значение для такого грандиозного предприятия, как программа «Геном человека», развернутая в США и других странах. В ходе этой и близких программ будет полностью картирован человеческий геном (полный набор хромосом в клетке), т. е. будет определено точное положение каждого гена в хромосомах. Подобно тому как при разгадывании мозаики-головоломки установление рисунка на краях облегчает завершение всей мозаики, изучение концов хромосом позволит быстрее построить полные хромосомные карты. В процессе картирования, несомненно, вскроются генетические причины многих заболеваний, углубятся наши представления о том, каким образом хромосомы определяют развитие и обеспечивают функционирование клеток.

ВСВОИХ ПОПЫТКАХ клонировать теломеру человека мы исходили из того, что было известно о ее функциях, а также из ряда данных, указывающих на ее организацию. Например, пионерная работа Мюллера на плодовой мушке *Drosophila melanogaster* и подобные эксперименты на кукурузе, проведенные Б. Макклиток в Колд-Спринг-Харборской лаборатории, показали, что так называемые индуцированные, т. е. поврежденные, концы хромосом отличаются нестабильностью, тогда как интактные концы совершенно стабильны. Поврежденные концы хромосом быстро связываются с другими хромосомами или деградируют. Из этих данных Мюллер сделал вывод, что теломеры в отличие от других участков хромосом каким-то образом обеспечивают интактность хромосом как отдельных друг от друга структур.

Считается также, что теломеры предотвращают укорачивание хромосом при репликации, которое потенциально чревато гибелью клетки в результате утраты генов. Первоначально эта защитная роль была предсказана на основании особенностей механизма удвоения линейной ДНК (како-

вой является ДНК человека), которое предшествует делению клетки.

Ферменты, осуществляющие удвоение ДНК, имеют серьезный недостаток, поскольку воспроизводят не полную копию: каждая новосинтезированная молекула ДНК оказывается на несколько нуклеотидов короче исходной. Если бы в клетке не существовало специальных контрмер, противодействующих этому механизму, хромосомы неуклонно укорачивались бы в ряду поколений.

Незначительное укорачивание хромосом, по-видимому, не играет заметной роли в соматических (неполовых) клетках организма, если в них сохраняется хотя бы часть теломеры и все гены. Однако если последовательное сокращение длины хромосом происходит в половых клетках (яйцеклетках и сперматозоидах), которые дают начало новым особям данного вида, то это в итоге должно приводить к исчезновению вида. Тот факт, что у человека и других организмов такого не случилось, позволяет заключить, что концевые сегменты — теломеры — на исходных молекулах ДНК играют роль своего рода охраны, которая каким-то образом защищает концы хромосом.

Приступая к клонированию теломеры человека, мы имели в виду, что в каждой клетке имеется по несколько теломер, ведь такая защита должна

ТЕЛОМЕРЫ — особые концевые участки ДНК — в хромосомах человека (*красные*) выявлены с помощью флуоресцентной пробы (*желтая*), которая распознает нуклеотидную последовательность ТTAGGG. (Буквами обозначаются мономеры ДНК, называемые нуклеотидами, которые содержат азотистые основания тимин [Т], аденин [А] и гуанин [G].) Такие изображения помогли доказать, что теломера человека состоит из сотен повторяющихся последовательностей ТTAGGG. На этой фотографии хромосомы находятся на стадии метафазы: каждая из них в преддверии клеточного деления уже реплицировалась (удвоилась), но сестринские хромосомы еще не отделились друг от друга.

быть на концах каждой хромосомы. Все соматические клетки организма человека содержат по 46 хромосом: один набор из 22 хромосом наследуется от матери, другой такой же (гомологичные хромосомы) — от отца, и кроме того, имеются две половые (негомологичные) хромосомы — X от матери и X либо Y от отца.

Мы предполагали также, что теломерная ДНК в клетке не только представлена многими копиями, но также состоит из повторяющихся нуклеотидных последовательностей или по меньшей мере содержит их. Такой организации можно было ожидать в силу некоторых хорошо известных особенностей генома человека, а также на основании изучения других организмов.

У человека приблизительно 25% ДНК составляют нуклеотидные последовательности, встречающиеся в каждой клетке по нескольку раз. Некоторые из этих повторяющихся последовательностей разбросаны по всей ДНК, другие же располагаются подряд, как звуки речи при заикании. Такие тандемные повторы обычно имеются в определенных очень важ-

ных участках хромосом, в частности в центромерах, которые обеспечивают правильное распределение хромосом между дочерними клетками в процессе деления клетки. Кроме того, повторяющиеся блоки или группы таких блоков часто принимают необычную пространственную структуру, в связи с чем, возможно, служат в клетке каким-то целям. Вместе взятые, эти факты позволяли с большой долей вероятности предполагать, что повторяющиеся последовательности выполняют в хромосомах особые функции и что способность теломер ограничивать хромосомы и предотвращать их укорачивание связана с наличием в них таких последовательностей.

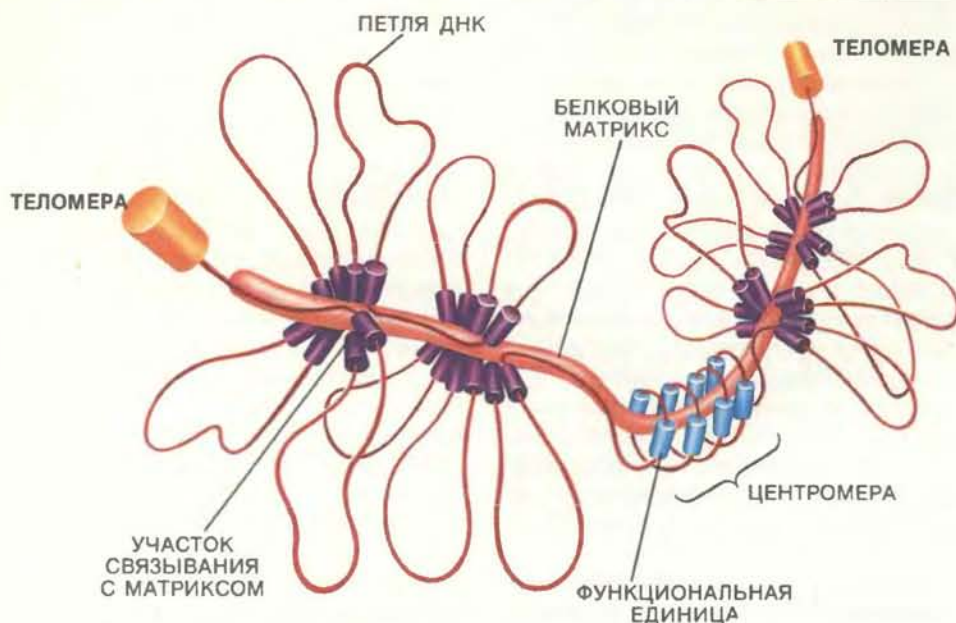
В результате исследования теломер у других организмов были получены конкретные подтверждения этой гипотезы. Э. Блэкбёрн и Дж. Голл, в то время работавшие в Йельском университете, первыми выделили теломеру из микроорганизма *Tetrahymena thermophila*, который выбрали главным образом потому, что в определенных периоды его жизненного цикла теломерная ДНК составляет зна-

чительную часть генома.

В эти периоды в клетках *Tetrahymena* от хромосом отщепляются сегменты, которые многократно размножаются, так что образуется приблизительно 10 тыс. копий таких «минихромосом». Такие относительно короткие амплифицированные блоки, содержащиеся на концах интактных теломер для поддержания стабильности, довольно легко отделить от остальной ДНК, чтобы определить их нуклеотидную последовательность. Оказалось, что на концах минихромосом имеется простой тандемный повтор последовательности TTGGGG.

Этот ряд букв — своего рода стенограмма. Нуклеотид ДНК состоит из остатка сахара дезоксирибозы, фосфатной группы и одного из четырех различных оснований — тимина (Т), гуанина (G), аденина (А) или цитозина (С), поэтому нуклеотиды часто обозначают символами оснований. Кроме того, в двухцепочечной ДНК противлежащие нуклеотиды разных цепей комплементарны: тимин всегда связан с аденином, а гуанин — с цитозином; поэтому запись TTGGGG





ВАЖНЕЙШИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ХРОМОСОМЫ ЧЕЛОВЕКА показаны здесь схематически. Считается, что каждая петля содержит один или более генов — участков хромосомной ДНК, кодирующих белки. В виде цилиндров изображены некодирующие сегменты ДНК, которые важны для стабильности или функционирования хромосомы: теломеры, участки связывания с белковым ядерным матриксом (могут быть одновременно участками начала репликации) и центромера, обеспечивающая правильное расхождение хромосом при делении клетки.

означает, что в комплементарной цепи ДНК стоят ААСССС.

Установление хотя бы одной теломерной структуры — это уже лучше, чем ничего. Но в клетках человека содержание ДНК в 100 раз больше — около 6 млрд нуклеотидных пар, а теломер гораздо меньше — всего по 2 на каждую хромосому; так что для выделения теломеры человека требовались другие подходы. Неудивительно, что последовавшие несколько лет не принесли значительных успехов.

Однако тем временем рядом исследователей, в том числе в лаборатории Блэкбёрн, которая перешла в Калифорнийский университет в Беркли, были проделаны изящные эксперименты, показавшие, что у различных одноклеточных эукариот (к эукариотам относятся все организмы, кроме бактерий и вирусов) теломеры организованы примерно так же, как у *Tetrahymena*. Все они состоят из простых повторяющихся последовательностей, богатых гуанином, которые описываются общей формулой $(T/A)_{1-4}(G)_{1-8}$. Это означает, что повторяющийся блок в одной цепи ДНК включает от одного до четырех адениновых или тиминных нуклеотидов (или и те и другие) и от одного до восьми гуаниновых нуклеотидов. Чаще всего встречаются повторы, в которых — три-четыре гуаниновых нуклеотида.

Принимая во внимание важность теломеры для стабильности и точности репликации хромосом, мои колле-

ги и я предположили, что, во-первых, теломера человека также содержит повторы, и во-вторых, ее последовательность описывается той же формулой, как и у других эукариот. В любом случае представлялось маловероятным, что столь жизненно важная адаптивная структура быстро менялась в ходе эволюции. Скорее можно было ожидать, что она очень консервативна, особенно среди видов, принадлежащих к одному таксону.

МЫ СЧИТАЛИ, что если наше предположение о наличии в теломере человека консервативной повторяющейся последовательности верно, то поиск этой последовательности сузится путем анализа «библиотеки» (коллекции) клонов ДНК человека с помощью пробы, полученной из повторяющейся ДНК другого млекопитающего, например какого-либо грызуна. Если в библиотеке клонов имеется специфическая последовательность ДНК, ее можно идентифицировать, используя ДНК-пробу с такой же или близкой последовательностью нуклеотидов. Мы надеялись, что теломерная ДНК грызуна поможет выделить теломеру человека, а наши знания о ее отличительных чертах позволят отличить теломеру от других повторяющихся последовательностей, отобранных с помощью других проб.

Стандартный метод выделения искомой последовательности из библиотеки, можно сказать, прямой. Ана-

лизируемую ДНК обрабатывают раствором, вызывающим отделение цепей двухцепочечной ДНК друг от друга, затем в смесь добавляют одноцепочечную ДНК-пробу. Если в библиотеке имеется последовательность, комплементарная последовательности ДНК-пробы, они связываются и образуется участок двухцепочечной ДНК; этот процесс называют молекулярной гибридизацией. С помощью разнообразных методов можно очистить ДНК, связавшуюся с пробой, и установить ее нуклеотидную последовательность.

Наши надежды на то, что проба, полученная из ДНК грызуна, позволит выявить теломеру человека, основывались на многочисленных исследованиях, выполненных в других лабораториях. Было показано, что если клетки грызунов особым образом индуцировать, чтобы в них могли проникнуть хромосомы человека, то эти последние там не разрушаются, а человеческая ДНК реплицируется в ходе каждого клеточного деления. Если бы теломера человека очень сильно отличалась от теломеры клетки-хозяина, молекулы, осуществляющие репликацию в клетках грызунов, не могли бы ее узнавать и, вероятно, были бы не способны точно копировать человеческую ДНК.

В целом наш план был вполне обоснованным, но независимо от выбора ДНК-пробы на деле надежды на выделение теломеры человека из имеющихся библиотек клонов человеческой ДНК почти не было.

Большинство библиотек получают с помощью ферментов рестрикции — специфических эндонуклеаз, которые узнают определенные короткие последовательности нуклеотидов, разбросанные по всем хромосомам, — и расщепляют ДНК в этих сайтах (см. рисунок на с. 27). Используя другие ферменты, индивидуальные фрагменты, полученные в результате расщепления хромосомной ДНК той или иной рестрикционной эндонуклеазой, встраивают в плазмиды (короткие кольцевые молекулы ДНК, выделенные из бактерий) или другие кольцевые ДНК, расщепленные в одном месте тем же ферментом рестрикции. Благодаря тому что для получения фрагментов ДНК и для расщепления кольцевых молекул используются одинаковые ферменты рестрикции, концы фрагментов и кольцевых ДНК легко связываются друг с другом. Затем такие генетически измененные кольцевые ДНК (векторы) вводят в клетки бактерий, обычно *Escherichia coli*, в которых они свободно реплицируются. Каждая бактериальная клетка дает начало клону — множеству

идентичных молекул вектора, в котором имеется вставка ДНК человека. Вся совокупность клонов человеческой ДНК, выделенная из бактериальных клеток, составляет библиотеку.

К сожалению, когда рестрикционная эндонуклеаза расщепляет хромосому, у концевых фрагментов, которые содержат всю теломеру и прилегающие последовательности нуклеотидов, только один конец образуется под действием эндонуклеазы, а на противоположном конце остается ин-

тактная ДНК. С вектором может связываться только конец, образованный эндонуклеазой, а другой — нет, и в итоге весь фрагмент не попадает в библиотеку. И даже если сделать так, что теломерный конец свяжется с вектором, фрагмент ДНК, содержащий теломеру, может оказаться слишком большим и не поместится в вектор.

Разумеется, прежде чем браться за поиски теломер в библиотеке ДНК человека, следовало получить такую

библиотеку, в которой бы заведомо были клоны, содержащие теломерную ДНК. Мы решили эту проблему, отказавшись от расщепления ДНК рестрикционными эндонуклеазами. Вместо этого мы продавливали препарат хромосом через шприц с тонкой иглой, в результате чего ДНК расщеплялась на короткие фрагменты. Среди этих фрагментов наверняка должны были быть сегменты теломер.

Теперь можно было получить нужную библиотеку, встраивая эти фраг-

Получение библиотеки ДНК человека, содержащей теломерные нуклеотидные последовательности

Стандартные библиотеки ДНК помогли клонировать многие гены, но они не содержат теломерных последовательностей (слева). Чтобы выделить теломеры из клеток человека, была получена особая библиотека, включавшая теломерную ДНК (справа). Поскольку теломеры содержат многочисленные повторы определенной последовательности, из этой библиотеки исключили неповторяющуюся ДНК.

СТАНДАРТНАЯ БИБЛИОТЕКА

ДНК ЧЕЛОВЕКА

БИБЛИОТЕКА ПОВТОРЯЮЩЕЙСЯ ДНК

1 ДНК расщепляется на фрагменты с помощью фермента рестрикции



2 Плазмиды расщепляются в одном месте тем же ферментом



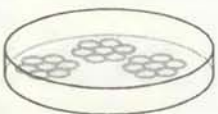
3 Каждый фрагмент человеческой ДНК включается в плазмиду



4 Рекомбинантные плазмиды вводятся в клетки *E. coli*



5 Бактерии размножаются. Из каждой образуется колония, состоящая из идентичных клеток и содержащая клон (множество копий) одного из фрагментов ДНК



БИБЛИОТЕКА КЛОНОВ (НЕ СОДЕРЖИТ ТЕЛОМЕРНОЙ ДНК)

1 ДНК механически разрывается на фрагменты



2 Разделение цепей двухцепочечной ДНК; повторяющиеся последовательности гибридизуются (связываются) с комплементарными им



3 Неповторяющуюся ДНК (не гибридизовавшиеся последовательности) отделяют; к концам оставшейся ДНК присоединяют цитозиновые нуклеотиды (■)



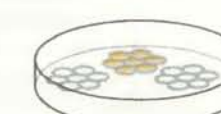
4 ДНК включается в предварительно «разрезанные» плазмиды, к которым присоединили гуаниновые нуклеотиды (■)



5 Рекомбинантные плазмиды вводятся в клетки *E. coli*



6 Бактерии размножаются

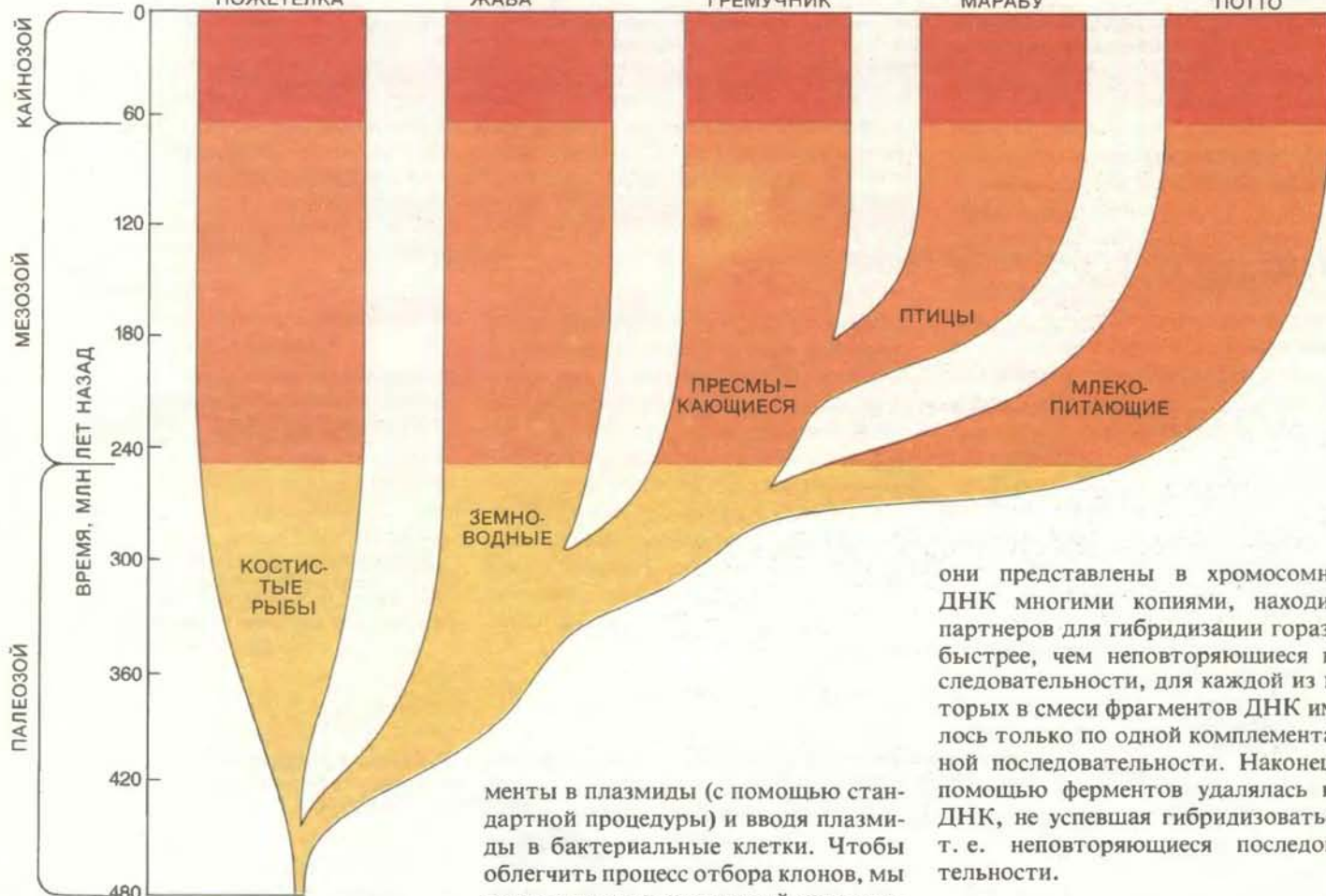


БИБЛИОТЕКА КЛОНОВ (СОДЕРЖИТ ТЕЛОМЕРНУЮ ДНК)

Любая нуклеотидная последовательность, присутствующая в библиотеке, может быть выделена при помощи ДНК-пробы, способной связываться с данной последовательностью

ЗЕЛЕНАЯ
НОЖЕГЕЛКАФАУЛЕРОВА
ЖАБАТЕХАССКИЙ
ГРЕМУЧНИКМАЛЫЙ
МАРАБУ

ПОТТО



ФЛУОРЕСЦЕНТНАЯ ПРОБА, которая узнает теломерную нуклеотидную последовательность человека ТTAGGG (желтые точки на фотографиях вверху), связывается с концами хромосом животных, изображенных на рисунке. С помощью этой пробы были выявлены концевые участки хромосом всех изученных на этот предмет костистых рыб, земноводных, пресмыкающихся, птиц и млекопитающих (всего более 100 видов). Полученные данные свидетельствуют, что теломеры всех пяти перечисленных групп организмов идентичны, хотя их ближайший общий предок жил более 400 млн лет назад. Такая высокая консервативность нуклеотидной последовательности сама по себе знаменательна.

менты в плазмиды (с помощью стандартной процедуры) и ввода плазмиды в бактериальные клетки. Чтобы облегчить процесс отбора клонов, мы включили дополнительный этап между стадиями расщепления ДНК и встраивания фрагментов в вектор. Ожидая, что основная часть теломеры состоит из последовательностей ДНК, которые многократно повторены в геноме, мы исключили фрагменты, не содержащие повторов, и тем самым удалили из библиотеки лишнюю в данном случае ДНК.

Сделать это было довольно просто. Мы разделили цепи полученных фрагментов двухцепочечной ДНК, а затем дали возможность гибридизоваться комплементарным последовательностям в течение непродолжительного времени. Повторяющиеся последовательности в силу того, что

они представлены в хромосомной ДНК многими копиями, находили партнеров для гибридизации гораздо быстрее, чем неповторяющиеся последовательности, для каждой из которых в смеси фрагментов ДНК имелось только по одной комплементарной последовательности. Наконец с помощью ферментов удалялась вся ДНК, не успевшая гибридизоваться, т. е. неповторяющиеся последовательности.

ПОЛУЧИВ ТАКУЮ библиотеку ДНК человека, мы обратились к поиску в ней консервативных повторяющихся последовательностей. При анализе этой библиотеки, включавшей многие тысячи клонов, с помощью повторяющейся ДНК хомячка, меченной радиоактивным изотопом, нашлись два клона, содержавшие последовательности, которые могли быть теломерными. Оба клона состояли из тандемных повторов ТTAGGG, которые соответствовали общей формуле для теломерных участков других видов живых организмов. Точно такая же последовательность ранее была обнаружена в

теломере микроскопического паразита *Trypanosoma brucei*.

Дополнительные исследования подтвердили, что мы действительно идентифицировали основной элемент теломеры человека. Методом проточной цитофотометрии (впервые примененным в Лос-Аламосской лаборатории для идентификации отдельных хромосом), в котором используется лазерная техника, удалось установить, что каждая хромосома содержит повторы TTAGGG, чего и следовало ожидать, если это — последовательность теломеры. Однако таким способом мы не могли определить, в каком месте хромосомы располагается повторяющийся участок.

Кроме того, Дж. Мейн, Р. Ратлифф и я с помощью метода, называемого гибридизацией *in situ*, продемонстрировали, что в каждой человеческой хромосоме на обоих концах имеются длинные участки, состоящие из повторов. Эти концевые повторы часто представлены последовательностью $(TTAGGG)_n$, где n — переменное число повторов.

Для проведения гибридизации мы выделяли хромосомы из клеток человека, иммобилизовали их на предметных стеклах для микроскопии и разделяли цепи двойной спирали ДНК. Затем применялся метод, разработанный Д. Уордом из Йельского университета. К искусственной ДНК-пробе, специально синтезированной для гибридизации с повтором TTAGGG, присоединялся биотин; такой пробой обрабатывали препараты иммобилизованной ДНК, после чего добавляли меченный флуоресцентным красителем авидин, который прочно связывается с биотином; сигнал авидина усиливали с помощью флуоресцентно меченных антител к авидину.

Изображения, которые мы наблюдали с помощью флуоресцентного микроскопа, выглядели совершенно однозначно (см. рисунок на с. 25): пробы окрашивали оба конца каждой хромосомы и не узнавали других участков. Однако нельзя было с полной уверенностью сказать, гибридизуется ли проба именно с концевыми нуклеотидами хромосомы или же с участком, расположенным поблизости от самого конца.

Чтобы получить однозначный ответ, мы в течение короткого времени обрабатывали хромосомную ДНК ферментом *Bal 31*, который постепенно укорачивает молекулы ДНК с концов. Оказалось, что первыми исчезают последовательности TTAGGG, а значит, они находятся на самых концах хромосом. Эти, а также другие эксперименты показали, что теломера человека состоит из 250—1500 по-

второв TTAGGG. Хромосомы из клеток разных типов различаются по размерам теломер; наиболее длинные теломеры присутствуют в сперматозоидах.

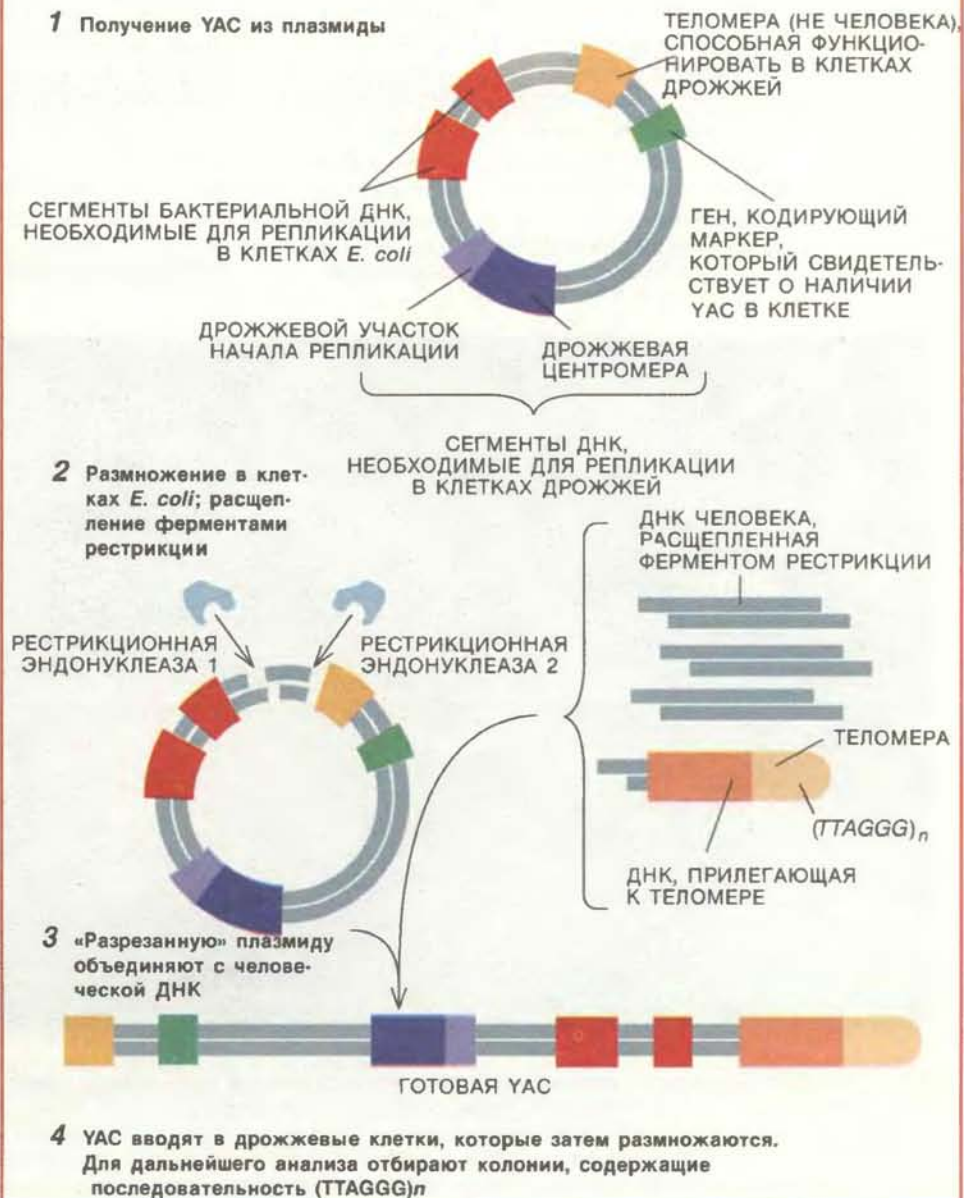
ТАКИМ ОБРАЗОМ, мы убедились, что действительно идентифицировали теломеру человека. Но поиски подтверждений продолжались. Желательно было показать, что повтор TTAGGG является консервативным и имеется у многих видов, а не только у человека, хомячка и *Trypanosoma*. Путем гибридизации *in situ* мы изучили ДНК более 100 видов позвоноч-

ных, в том числе ряда млекопитающих, птиц, пресмыкающихся, земноводных и костистых рыб; ближайший общий предок этих организмов жил более 400 млн лет назад.

Опыты проводились в таких условиях, что проба гибридизовалась только с последовательностью TTAGGG, а даже с очень похожими последовательностями, например TAAGGG, гибридизации не происходило. Такая же нуклеотидная последовательность, как у человека, была обнаружена в теломерах всех изученных видов, что само по себе очень интересно, поскольку в большей части

Получение искусственных дрожжевых хромосом для клонирования ДНК человека

Теломера человека вместе с ДНК, прилегающей к ней в хромосоме, включается в состав искусственной дрожжевой хромосомы (YAC) и реплицируется в клетках дрожжей. Затем выделяют амплифицированную человеческую ДНК и определяют ее нуклеотидную последовательность. Этот подход позволил установить структуру ДНК, прилегающей к теломерным участкам, в ряде хромосом



гена нуклеотидные последовательности в процессе эволюции довольно быстро изменялись. Для наглядности подчеркнем, что теломерный повтор (TTAGGG)_n возник задолго до того, как на Земле распространились динозавры; весьма вероятно, что если бы удалось изучить теломеры динозавров, они оказались бы идентичными человеческим.

Конечно, окончательным доказательством того, что повтор (TTAGGG)_n составляет теломеру у человека, была бы демонстрация этой его функции в человеческих клетках. В идеале эту последовательность нужно ввести в искусственную хромосому, содержащую кроме нее только последовательности ДНК человека, необходимые для репликации хромосомы, а именно участок начала репликации и центромеру. Если бы такая минимизированная хромосома в клетках человека продолжала реплицироваться без уменьшения длины, можно было бы быть уверенными, что именно повтор (TTAGGG)_n выполняет функции теломеры.

К сожалению, пока еще никому не удалось получить искусственную хромосому, содержащую только человеческие нуклеотидные последовательности, поскольку еще не идентифицированы последовательности, необходимые для функционирования центромеры человека. Однако подобные

эксперименты можно провести с искусственными хромосомами дрожжей (YAC — от англ. yeast artificial chromosomes). Наши коллеги из Университета Вашингтона в Сент-Луисе Р. Ритман, Д. Берк и М. Олсон получили YAC, в которых вместо одной из дрожжевых теломер имелась последовательность предполагаемой теломеры человека. Введенные в клетки дрожжей эти «химерные» ДНК сохранялись и реплицировались с достаточной точностью. Это доказывает, что последовательность TTAGGG человека действительно ведет себя как теломера. Такие же результаты независимо получены в лабораториях У. Брауна в Оксфордском университете, Г. Кука в Совете медицинских исследований в Эдинбурге и Ч. Кантора в Колумбийском университете. Но человек и дрожжи почти не имеют родства, поскольку их ближайший общий предок жил более миллиарда лет назад; следовательно, если бы эти опыты дали отрицательный результат, он не опровергал бы ранее сделанных заключений. Тем не менее тот факт, что даже в клетках дрожжей, у которых теломеры более вариабельны, человеческая последовательность распознается как теломера, убедительно свидетельствует, что сегмент, который мы выделили из библиотеки человеческой ДНК, действительно является теломерой.

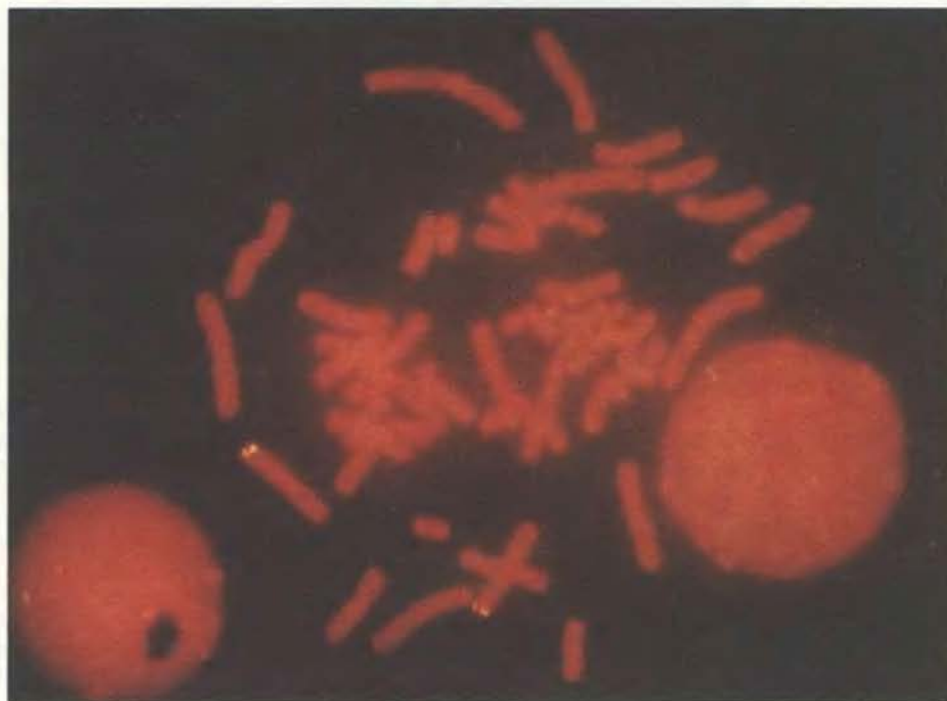
ИДЕНТИФИЦИРОВАВ теломеру человека, мы, а также другие исследователи, стали использовать YAC с теломерами для иных целей. Одна из них заключалась в том, чтобы идентифицировать нуклеотидные последовательности, непосредственно примыкающие к теломерам в каждой из хромосом. Для этого YAC являются замечательным инструментом, так как в них можно встраивать фрагменты ДНК до 500 тыс. нуклеотидов длиной (в плазмиды помещается не более 40 тыс. нуклеотидов).

Эти работы уже сейчас позволяют заполнять бреши на картах хромосом человека. Современные карты хромосом напоминают представления о мире, существовавшие в XVI в: некоторые области изучены очень детально, тогда как о других, как в свое время о Новом Свете, имеются лишь предположительные описания.

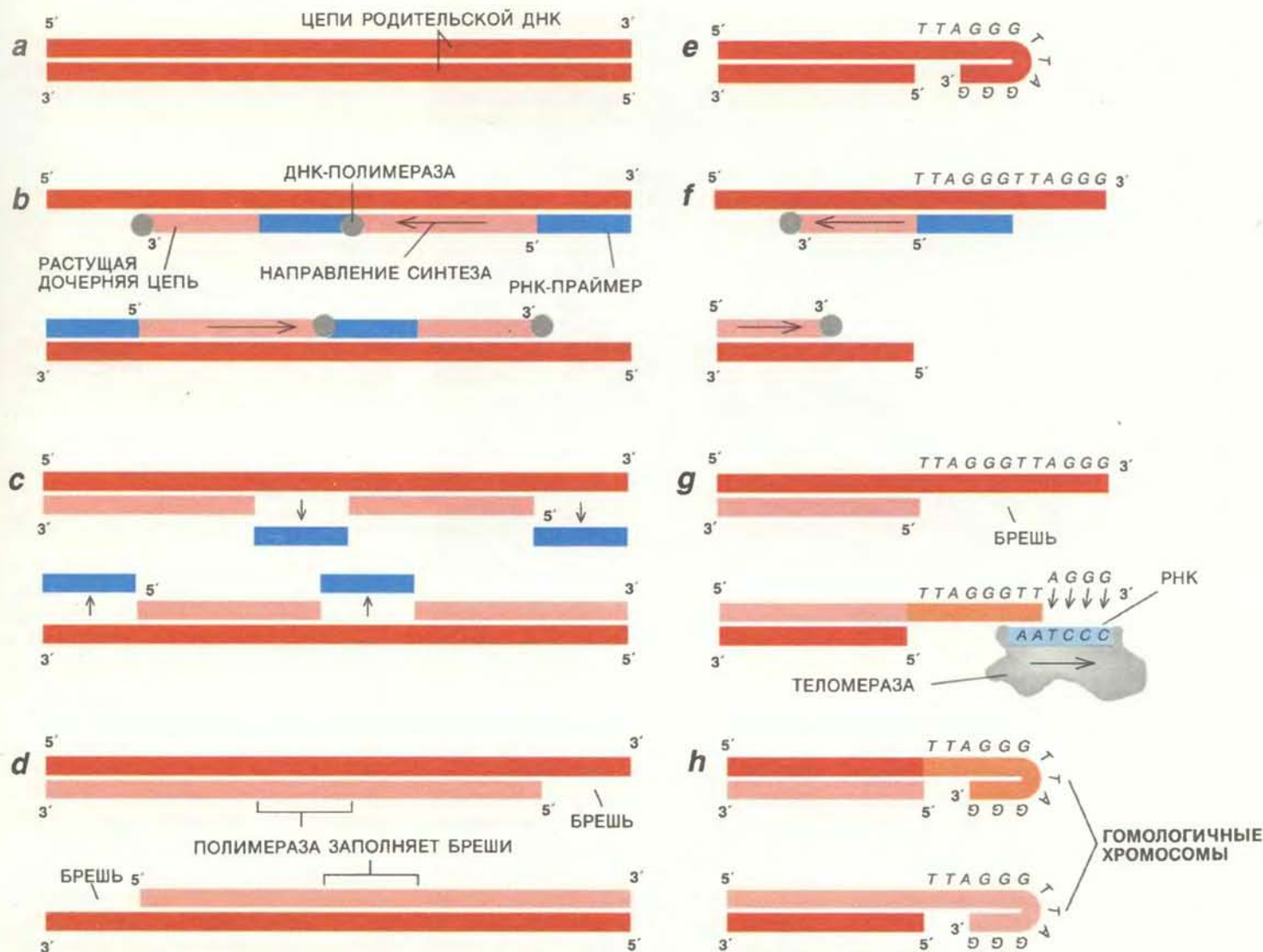
До недавнего времени расположение генов определялось путем оценки того, насколько они удалены от маркеров — нуклеотидных последовательностей, с высокой частотой наследующихся вместе с определенным геном. По частоте, с которой тот или иной ген и маркер наследуются вместе, можно приблизительно определить расстояние между ними: чем эта частота выше, тем ближе друг к другу два данных участка расположены в хромосоме. Сравнение характера наследования для ряда маркеров позволяет установить их относительное расположение, а следовательно, и приблизительное расположение соответствующих генов.

Ранее нередко случалось так, что конец хромосомы, считавшийся расположенным вблизи известного маркера, значительно — порой на миллионы нуклеотидов — «отодвигался», когда выделяли новый маркер. Теперь же появилась возможность устанавливать, действительно ли маркер находится на конце хромосомы. Для этого теломеру и прилегающую к ней ДНК клонируют в YAC и непосредственно измеряют расстояние между маркером и какой-то точкой в клонированном сегменте ДНК. В итоге можно будет определить локализацию всех маркеров, точно измеряя расстояния между каждым из них и теломерой.

Исследования прилегающей к теломере ДНК с помощью YAC проливают также свет на функции таких субтеломерных участков. Можно предположить, что эти области хромосомы неблагоприятны для расположения в них генов и потому те редко там встречаются. Как бы то ни было, но если теломера по какой-то причине будет утрачена, первыми вслед за ней



ДНК ЧЕЛОВЕКА (желтая), клонированная в искусственной дрожжевой хромосоме, связывается с участком ДНК, примыкающим к теломере длинного плеча, в каждой из двух хромосом 7 в клетке человека на стадии метафазы. Определить локализацию генетических маркеров в хромосоме 7 можно, измеряя расстояние от маркера до этой субтеломерной ДНК. (На данной микрофотографии крупные сферы соответствуют ядрам других клеток.)



ДНК УКОРАЧИВАЕТСЯ в ходе репликации (слева). Когда комплементарные цепи родительской ДНК (а) разделяются (b), к ним присоединяются РНК-праймеры, необходимые для начала синтеза дочерних цепей под действием ферментов, называемых ДНК-полимеразами. После удаления праймеров (с) полимеразы сращивают новообразованные фрагменты ДНК (d), но не может заполнить бреши на дальних концах молекулы (на теломерах). Возможно, этому укорачиванию противодействует фермент теломераза. В одной из гипотез (справа) предполагается, что 3'-теломер-

ный сегмент каждой цепи родительской ДНК, который выступает за комплементарный 5'-конец и, вероятно, свернут (e), во время репликации разворачивается (f); здесь показан только один 3'-конец. Затем осуществляется нормальный синтез ДНК при участии РНК-праймеров. Бреши на 5'-концах остаются (g), однако теломераза, которая у человека, возможно, содержит РНК, комплементарную последовательности ТТАGGG, наращивает теломерные повторы на новых 3'-концах. После этого концы вновь сворачиваются (h), формируя конец хромосомы.

исчезнут гены, находящиеся в прилегающих участках ДНК. И действительно, у большинства одноклеточных организмов к теломере примыкает некодирующая ДНК. По-видимому, она играет роль буфера между теломерой и нуклеотидными последовательностями, кодирующими белки.

В хромосомах человека, судя по всему, имеют место те же закономерности. Многие фрагменты ДНК, изученные с помощью YAC, содержат подобные спейсеры — некодирующие «буферные» последовательности. Как и субтеломерные участки у одноклеточных организмов, они содержат многочисленные повторы. В отличие от теломерной ДНК в спейсерах число и последовательность повторяю-

щихся блоков сильно варьируют в разных хромосомах и у разных индивидов.

Изучение субтеломерной ДНК, возможно, позволит обнаружить новые маркеры, наследующиеся вместе с такими генами, которые обуславливают какие-либо заболевания, идентифицировать те немногие гены, которые расположены вблизи теломер, и установить их точную локализацию. Например, было установлено, что ген, ответственный за болезнь Хантингтона, связанную с дегенерацией специфических нейронов, расположен в области конца короткого плеча хромосомы 4. Но точную его локализацию не удалось определить, поскольку не были известны маркеры,

которые бы ограничивали ген со стороны теломеры. Отчасти трудность состояла в том, что было не ясно, где оканчивается хромосома. Благодаря идентификации теломеры область поиска гена, обуславливающего это заболевание, сузилась до 2 млн нуклеотидов, примыкающих к концу хромосомы. В этом участке теперь остается найти маркеры, а тогда можно будет картировать и сам ген.

Наконец, клонирование теломеры внесло заметный вклад в изучение другой проблемы — причин старения клеток. Предполагается, что только генеративные клетки обладают механизмом, предотвращающим укорачивание хромосом во время репликации, тогда как нерепродуктивные клетки

теряют свои теломерные повторы при каждом клеточном делении. Как только вся или почти вся теломера утрачивается, хромосома распадается и клетка гибнет. Теперь, когда теломера человека известна, возникает возможность проверить эту гипотезу экспериментально.

ХОТЯ выделение теломеры человека уже сыграло положительную роль в различных областях исследований, в поведении самой теломеры остается много неясного. В частности, каким образом эти сегменты ДНК стабилизируют хромосомы и предотвращают их укорачивание во время репликации?

Ряд открытий дает частичный ответ на этот вопрос. Так, стало известно, что на концах многих теломер ДНК не имеет структуры двойной спирали: цепь ДНК, богатая гуанином (G), гораздо длиннее комплементарной цепи, богатой цитозином (C). Г. Морин из Йельского университета показал, что в раковых клетках человека необычный фермент, называемый теломеразой, может наращивать повторы TTAGGG на выступающем конце. Активность этого фермента напоминает активность первой из известных теломераз, которую обнаружили у *T. thermophila* Блэкбёрн и К. Гридер, работающий в настоящее время в Колд-Спринг-Харборской лаборатории.

В отличие от фермента из клеток человека теломераза *T. thermophila* детально изучена. Кроме полипептидной цепи этот фермент содержит РНК. (Молекулы РНК, обычно одноцепочечные, имеют такую же общую структуру, как одноцепочечная ДНК, но вместо тимина содержат урацил.) В РНК, входящей в состав теломеразы, имеется последовательность, комплементарная повтору в богатой цитозином цепи теломерной ДНК — TTGGGG. Фермент способен связываться с концом выступающей цепи таким образом, что эта последовательность нуклеотидов его РНК непосредственно выдается за последний повтор TTGGGG. В таком положении РНК способствует присоединению к торчащему концу ДНК комплементарной последовательности, т. е. нового повтора TTGGGG.

Возможно, теломераза человека таким же способом надстраивает повторы TTAGGG. Высказывались разнообразные гипотезы о том, каким образом дополнительные повторы могут предотвращать укорачивание хромосом при репликации; одна из возможностей показана на рисунке на с. 31. Впрочем, все эти предположения пока остаются недоказанными.

Нет полного ответа и на вопрос о

том, какие свойства теломеры важны для сохранения конца хромосомы. Возможно, здесь играет роль способность теломерных последовательностей принимать необычную трехмерную структуру, что присуще всем известным теломерам. Например, гуаниновые основания в теломерной ДНК, по-видимому, способны связываться с гуанином в той же цепи, тогда как в генах гуанин всегда спаривается с цитозином, а пар G—G не встречается. Вероятно, что такая необычная конформация каким-то образом препятствует взаимодействию с ДНК ферментов, вызывающих де-

градацию нетеломерной ДНК.

Однако независимо от нерешенных проблем тот непреложный факт, что теломера человека состоит из повторов (TTAGGG)_n, подтверждает нашу исходную гипотезу, согласно которой повторяющиеся последовательности, не участвующие непосредственно в синтезе белков, могут нести информацию, играющую важную роль в сохранении и функционировании хромосом. Теперь главная задача — идентифицировать другие столь же важные последовательности и установить, как они, а также повторы TTAGGG передают эту информацию клетке.

Наука и общество

Сети делают автомобили

СЕМЬ лет назад компания General Motors (GM) согласилась внедрить у себя новую технологию под названием «Протокол автоматизированного производства», или MAP (Manufacturing Automation Protocol). Этот грандиозный план по объединению в сеть производственных компьютеров, роботов и других средств автоматизации должен был превратить автомобильный завод в единый производственный организм, способный выпускать машины марки «Сатурн» буквально одну за одной.

Однако реализация того, что, по мнению специалистов General Motors, должно было принести пользу компании и всей индустриальной Америке, продвигалась слишком медленно. В окончательном виде компьютерная сеть в соответствии с полным набором протоколов вступила в строй только в прошлом году. Следует учесть, что GM — один из немногих покупателей, если не единственный, делающий крупные заказы. «Большинство заводов за пределами GM фактически представляют собой небольшие предприятия, выпускающие опытные образцы», — говорит П. Истман, возглавляющий группу, которая занимается разработкой одного из стандартов на компьютерные сети MAP.

Ключевым звеном MAP является протокол для одного из видов локальной сети, которая передает комбинацию компьютерных битов, называемую жетоном, по коаксиальному или волоконно-оптическому кабелю, или по шине, со скоростью 10 млн бит в секунду. Эта локальная сеть, которая одобрена группами, разрабатываемыми международными стандартами, подает команды элементам сети, когда им нужно передать свои

сообщения так, чтобы они не делали это все сразу, и задерживает время для ответа.

MAP включает в себя малые сети, питающие более крупные сети как притоки, впадающие в большую реку, и не отличаются от схемы расположения оборудования на автосборочных предприятиях. Но на практике вопросы технической сложности MAP и других компонентов так называемого компьютеризованного производства (CIM) отошли на второй план; главное место занимает проблема стоимости: некоторые компании отказались от сложной «многоярусной» схемы производства. Наиболее быстро растущий сектор рынка производственных компьютерных сетей — это простые локальные сети, построенные на объединении персональных компьютеров. «Людей убедили в том, что MAP способны решить все проблемы, тогда как GM удалось решить лишь малую часть собственных проблем», — сказал Дж. Кадуоллдер, вице-председатель Европейской группы пользователей MAP.

В середине 80-х годов GM взяла на себя роль миссионера MAP. Тогда ее инженеры предсказывали, что планы по увеличению количества компьютеризованных устройств на предприятиях в пять раз будут осуществляться слишком медленно, если компании не удастся ликвидировать «острова автоматизации» в заводских цехах. На заводах GM только 15% из 40 тыс. компьютеризованных станков, приборов, управляющих устройств и других систем могли обмениваться информацией. А половина средств, расходуемых компанией на системы автоматизации, тратилась на временно действующие сети со сделанными на заказ программным обеспечением, аппаратными средствами и кабельными соединениями.

Как один из самых крупных покупателей компьютеров после правительственных организаций, компания GM пообещала «напрячь» свои покупательские способности, чтобы убедить поставщиков средств автоматизации принять общий стандарт на сети, который ликвидировал бы несовместимость оборудования в заводских цехах. Тогда путем простого подключения к MAP робот, изготовленный одним производителем, мог бы передать информацию о состоянии производства миникомпьютеру, выпущенному другим производителем. Чтобы оказать на поставщиков еще большее давление, GM содействовала началу кампании, целью которой было убедить сотни других промышленных предприятий в необходимости требовать при покупке оборудования его соответствия MAP.

В течение некоторого времени казалось, что MAP-технология восторжествует. Как и производство по принципу «строго вовремя», гибкое производство, автоматизированное проектирование и производство, технология MAP заимствовала лексикон, который руководители корпораций использовали, когда хотели убедить заказчиков и акционеров в искреннем стремлении перекрыть иностранное вторжение на рынки США. Представители GM утверждали, что легко, с которой можно было бы соединить между собой станки, снизит стоимость производства и повысит конкурентоспособность американской промышленности. Некоторые проповедники MAP раскрывают эту аббревиатуру даже в терминах Священного писания.

Но, несмотря на многообещающее начало, поставщики оборудования не сразу восприняли идею MAP. Поскольку поставщики, как правило, имеют большие запасы готовой продукции, они не были заинтересованы в том, чтобы заказчики имели доступ к сети, которая легко стыкуется с оборудованием, изготовленным другими производителями. Поэтому они пытались продавать компьютеры и программное обеспечение, которое работало только с их сетями, не похожими на MAP.

Корпорация Digital Equipment, главный поставщик компьютеров для заводских цехов, несомненно сдержанно отнеслась к MAP. Согласно данным Advanced Manufacturing Research, исследовательской фирмы в Кембридже (шт. Массачусетс), путем продажи схемы своей сети «DECnet» корпорация завоевала около 45% рынка заводских сетей с объемом продаж на сумму 337 млн долл. в прошлом году. Сбыт же продукции, совместимой с MAP, составил лишь 5%



ПРОТОКОЛ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА используется для управления оборудованием, которое соединяет корпус и шасси автомобилей на заводе «Сатурн» компании General Motors.

рынка, причем большинство закупок были сделаны GM.

Тем временем длительный процесс введения стандартов на MAP занял около 10 лет. И потенциальные заказчики воздерживались от приобретения первых неполных версий MAP, что вытеснило с рынка в 1988 г. самого крупного поставщика этой технологии — Industrial Networking, Inc. «Мы не могли делать деньги, только и всего», — сказал Р. Бьери, специалист по маркетингу из Ungermann-Bass, которая образовала вышеназванную корпорацию как совместное предприятие с фирмой General Motors.

GM со своей стороны все еще пропагандирует MAP, хотя ее пыл уже несколько поостыл. Компания уступила ведущую позицию в группе сторонников MAP. Она на несколько лет отстает от своего плана по широкому внедрению MAP в производство, в то время как на различных предприятиях устанавливаются новые сети, которые не используют технологию MAP, поскольку продукцию для нее трудно найти. Однако GM все же начинает понимать, какую выгоду она извлекает из этой технологии. На заводе по производству грузовых автомобилей и автобусов в Понтиаке (шт. Мичиган) компания имеет сеть, по которой передаются сообщения роботу, указывающие, в какой цвет красить грузовик; она была установлена всего за месяц, в три раза быстрее, чем обычно требуется для осуществления такого проекта.

Необходимость соединения оборудования различных производителей

(причина, по которой GM поддерживала разработку MAP) сегодня убедительна как никогда. И поставщики, и их заказчики признают, что если не MAP, то эту же роль могут в конечном итоге выполнять другие стандартные сети. Но время, которое потребовалось на то, чтобы MAP обрела своих потребителей, может стоить США утраты преимущества в конкурентной борьбе с иностранными соперниками.

Возможно, что MAP уже имеет многих, а то и больших, приверженцев в Европе и Японии. Европейские компании стран общего рынка приняли MAP, а в Японии министерство внешней торговли и промышленности поддержало концепцию этой американской технологии. «Мы, американцы, не очень хорошие проводники технологии, — жалуется Д. Билгер, менеджер по коммуникациям на заводе «Сатурн» компании GM в шт. Теннесси. — Мы часто опережаем мир в разработке технологии, но потом не реализуем ее в производстве».

MAP-технология обещала промышленности США быстрое избавление от всех недугов. «В этой стране любят использовать технику как панацею от всех бед, — говорит Э. Фришиа, президент Advanced Manufacturing Research. — Если мы осуществим компьютеризованное производство (CIM), мы будем страной «номер один». Если мы осуществим MAP, мы также будем страной «номер один». Есть только один способ всегда быть первым — это делать лучше, чем другие».

Гари Стукс

Следы и изображения элементарных частиц

Каждую секунду на самом большом в мире коллайдере получают 25 млрд. бит информации. Как и почему она превращается в изображения элементарных частиц?

Х. БРЮКЕР, Г. ДРЕВЕРМАН,
К. ГРАБ, А. РЕЙДМЕЙКЕРС, Г. СТОУН

БОЛЬШОЙ электрон-позитронный коллайдер LEP (Large Electron-Positron Collider) — один из самых мощных ускорителей элементарных частиц, которые когда-либо были построены. В нем электроны сталкиваются с позитронами, своими двойниками из антимира. В этих соударениях, происходящих внутри каждого из четырех огромных детекторов, высвобождается энергия примерно в 100 млрд. электронвольт (эВ). При каждом таком микровзрыве испускается «сноп» сотен элементарных частиц, контролируемых сотнями тысяч датчиков. Менее чем за секунду электронная система должна рассортировать данные, собранные приблизительно 50 000 электрон-позитронных счетчиков, чтобы найти среди всех событий одно или два «любовых» столкновения, которые могут привести к новым открытиям о природе фундаментальных взаимодействий и элементарных частиц.

Когда электронная система обнаруживает такое событие, данные о нем должны быть переданы самому оригинальному из всех когда-либо созданных процессоров изображений. Несомненно, это устройство является самой главной базой эксперименталь-

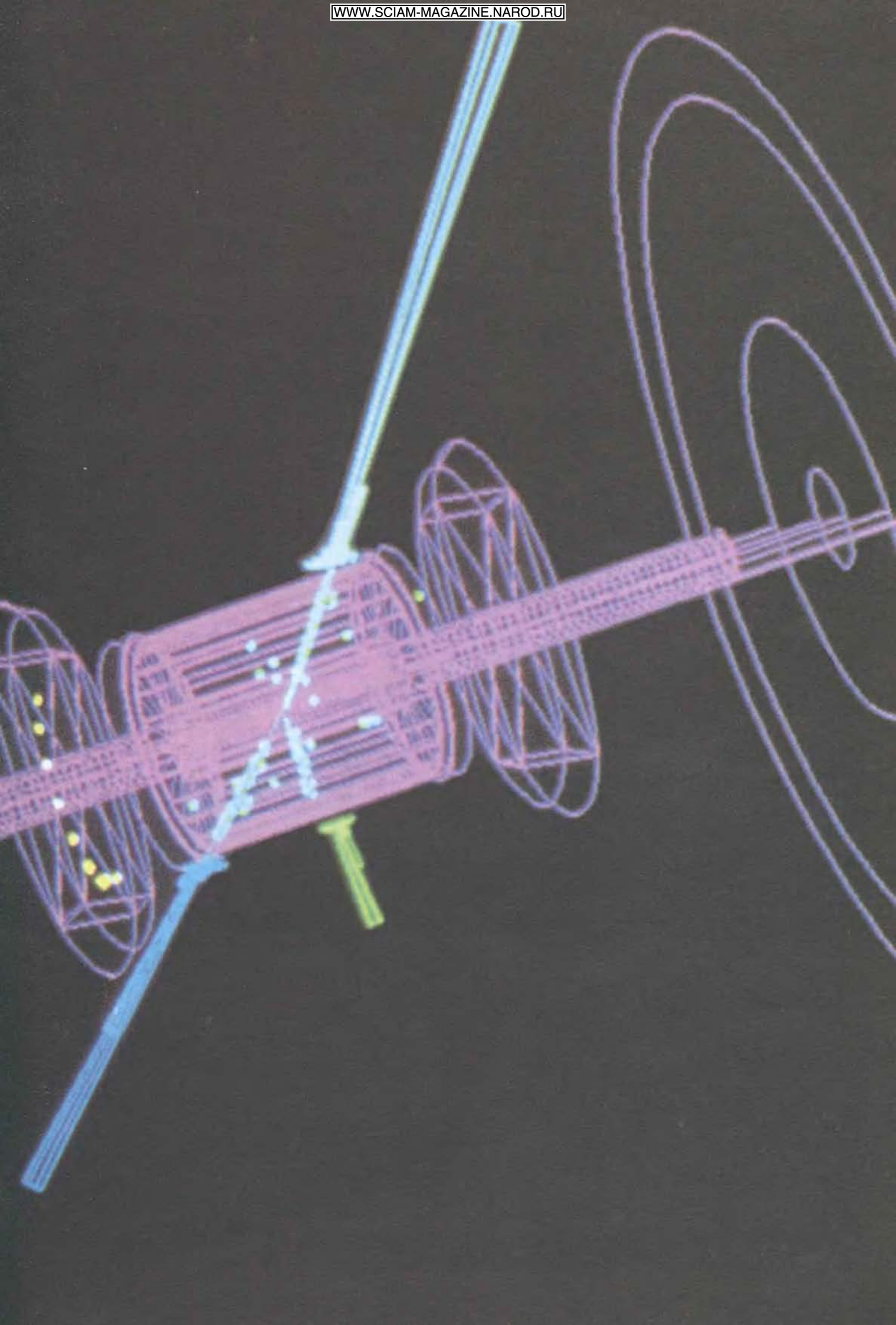
ной физики, и на его создание ушло гораздо большее время, чем на строительство коллайдера LEP. Устройство это — человеческий мозг.

Компьютеры не могут состязаться с умственными способностями человека при распознавании сложных образов, соответствующих данным, собранным детекторами LEP. Поэтому исследование субъядерных событий начинается с создания видимых образов объектов, размеры которых в миллиарды раз меньше тех, что различает глаз, и которые движутся в миллионы раз быстрее предметов, которые еще можно наблюдать визуально.

В течение последнего десятилетия мы с коллегами из Европейской организации ядерных исследований (ЦЕРН) пытались спроектировать совершенное устройство, позволяющее человеку наглядно воспринимать огромный объем электронных сигналов от детекторов LEP. С помощью мощных компьютеров необработанные данные — по 500 000 чисел для каждого события — преобразуются в четкие и понятные изображения. Траектории частиц, их вид, энергия и многие другие характеристики представляются разными типами кривых различного цвета.

ИЗОБРАЖЕНИЕ СОБЫТИЙ позволяет увидеть частицы, порожденные распадом частицы Z^0 внутри детектора L3 на коллайдере LEP. При распаде появились три первичные частицы: электрон (показан синим цветом), позитрон (голубой) и фотон (желтый). Фиолетовыми линиями показана структура этой части детектора. Голубыми и желтыми «столбиками» отмечены точки столкновения частиц с детектором; их высота соответствует количеству выделившейся энергии.



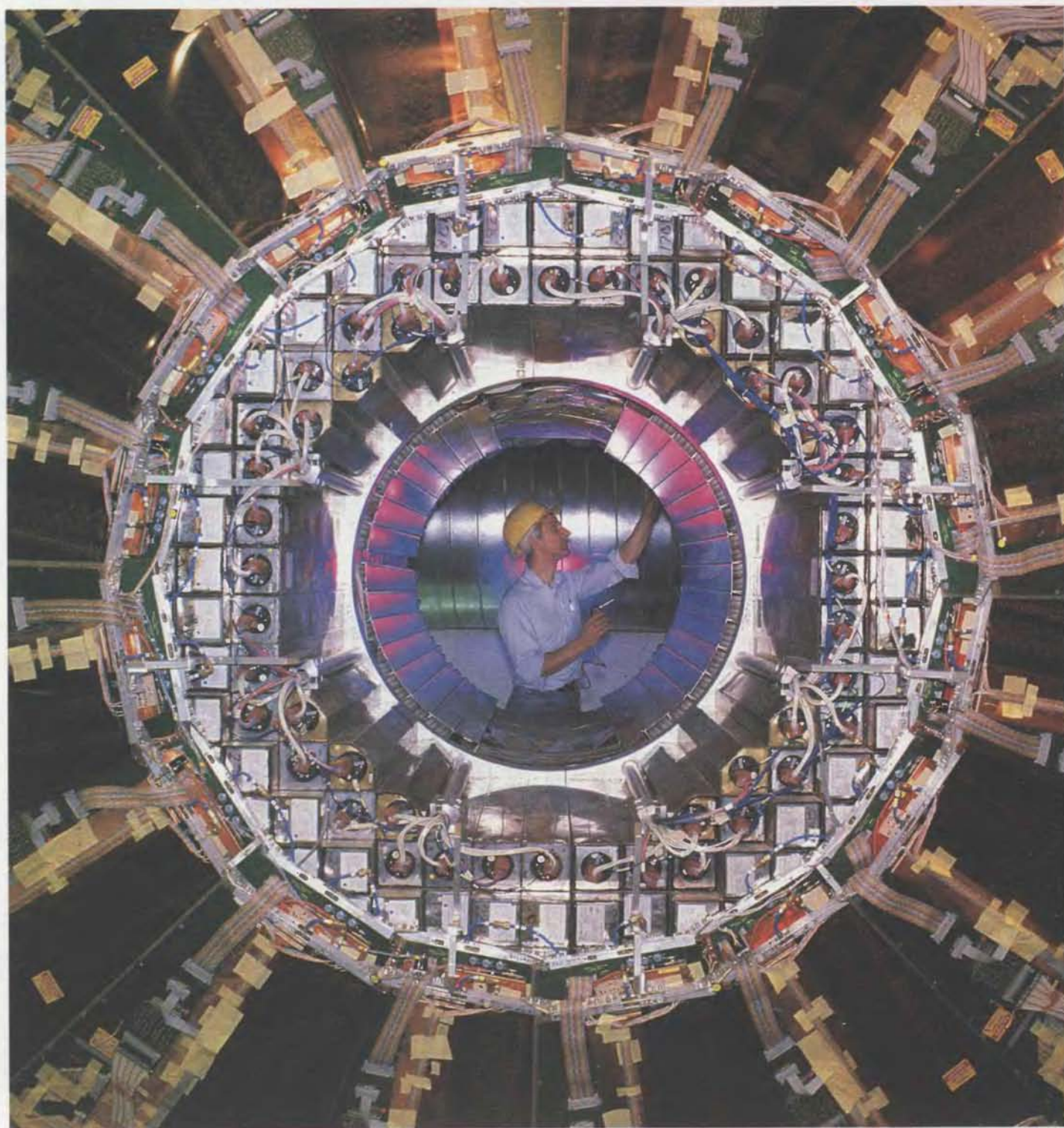


Нашими усилиями внесен определенный вклад в ряд важных открытий, сделанных на коллайдере LEP со времени его пуска два года назад. Физики детально изучили на нем свойства частицы Z^0 («зэт-нуль»). Она переносит слабое взаимодействие, одно из четырех фундаментальных взаимодействий, подобно тому как фотоны переносят электромагнитное взаимодействие. Для понимания природы слабых взаимодействий физики точно определили массу частицы Z^0 и изу-

чили ее распады на другие частицы. Эти исследования убедительно показали, что все вещество состоит лишь из 12 элементарных частиц: шести видов кварков и шести лептонов. Поскольку эксперименты на LEP продолжают, мы надеемся обнаружить новые виды вещества и изучить процессы рождения кварков и лептонов (см. статью: Гэри Дж. Фелдман, Джек Штайнбергер. Число поколений фундаментальных составляющих вещества, «В мире науки», 1991, № 4).

ЧТОБЫ НЕ ОТСТАВАТЬ от темпов усовершенствования ускорителей, за последние три десятилетия значительно изменилась техника регистрации и наблюдения элементарных частиц.

Для наблюдения столкновений частиц (событий) физики когда-то взяли на вооружение такие детекторы, как камеры Вильсона, пузырьковые и истрочные камеры. В каждом из этих приборов заряженная частица движется в какой-то среде и наблюдается



ДЕТЕКТОР OPAL. Потребовалось огромное количество кабелей для создания 180 000 каналов передачи информа-

ции от датчиков к системе накопления данных. Пучки частиц проходят через центр детектора.

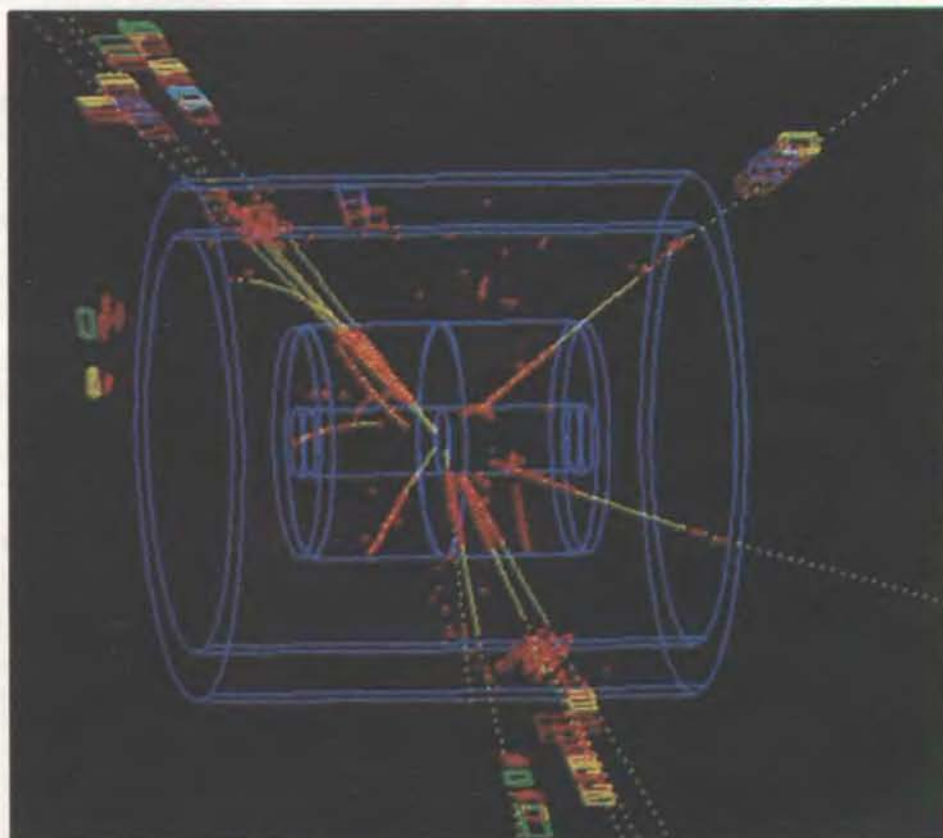
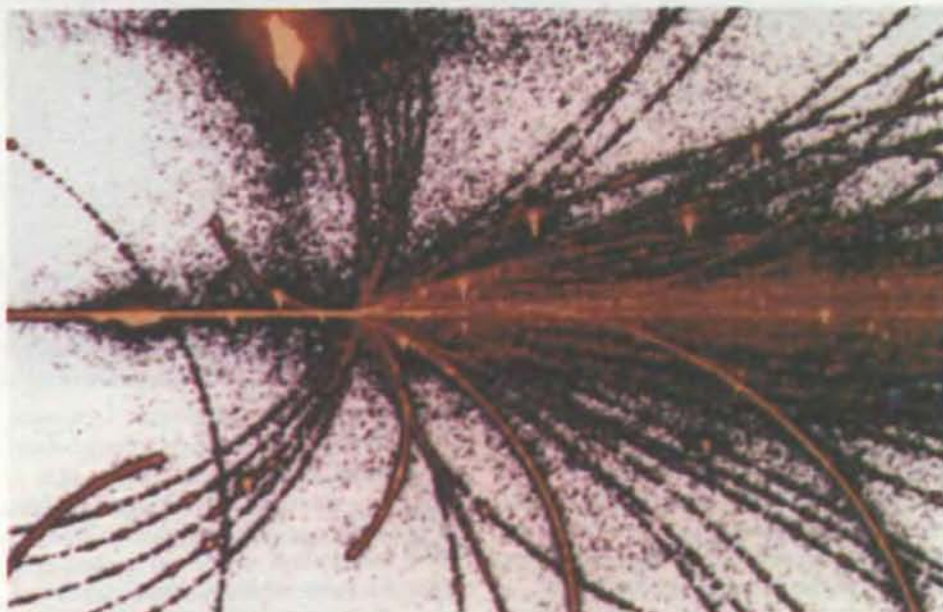
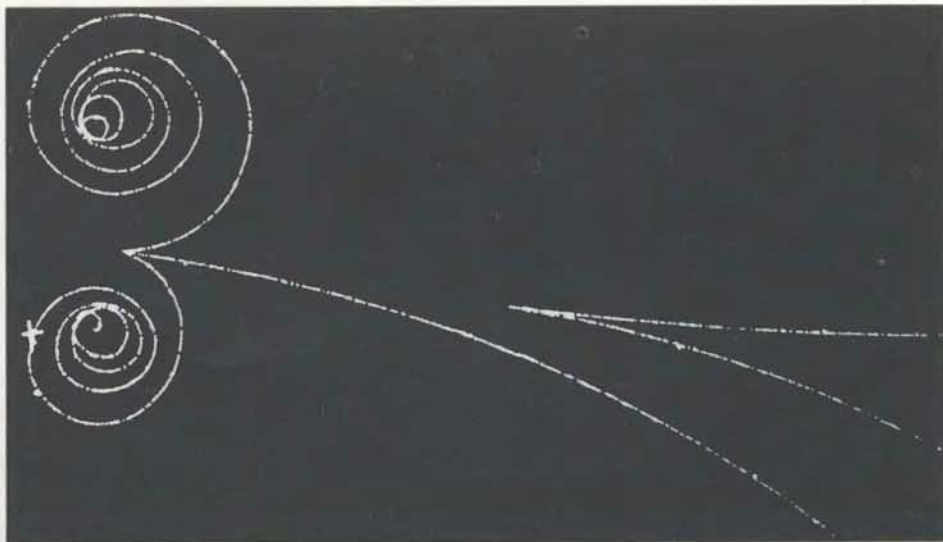
по оставляемому следу из ионизованных атомов. В камерах Вильсона ионизованные атомы способствуют конденсации капель воды. В пузырьковых камерах ионизация инициирует образование пузырьков в жидкости. В искровых камерах ионизованные атомы взаимодействуют с электрическим полем высокого напряжения, что приводит к возникновению искровых разрядов. Следы из водяных капель, пузырьков в жидкости или электрических искр затем могут быть зафиксированы на фотопленку.

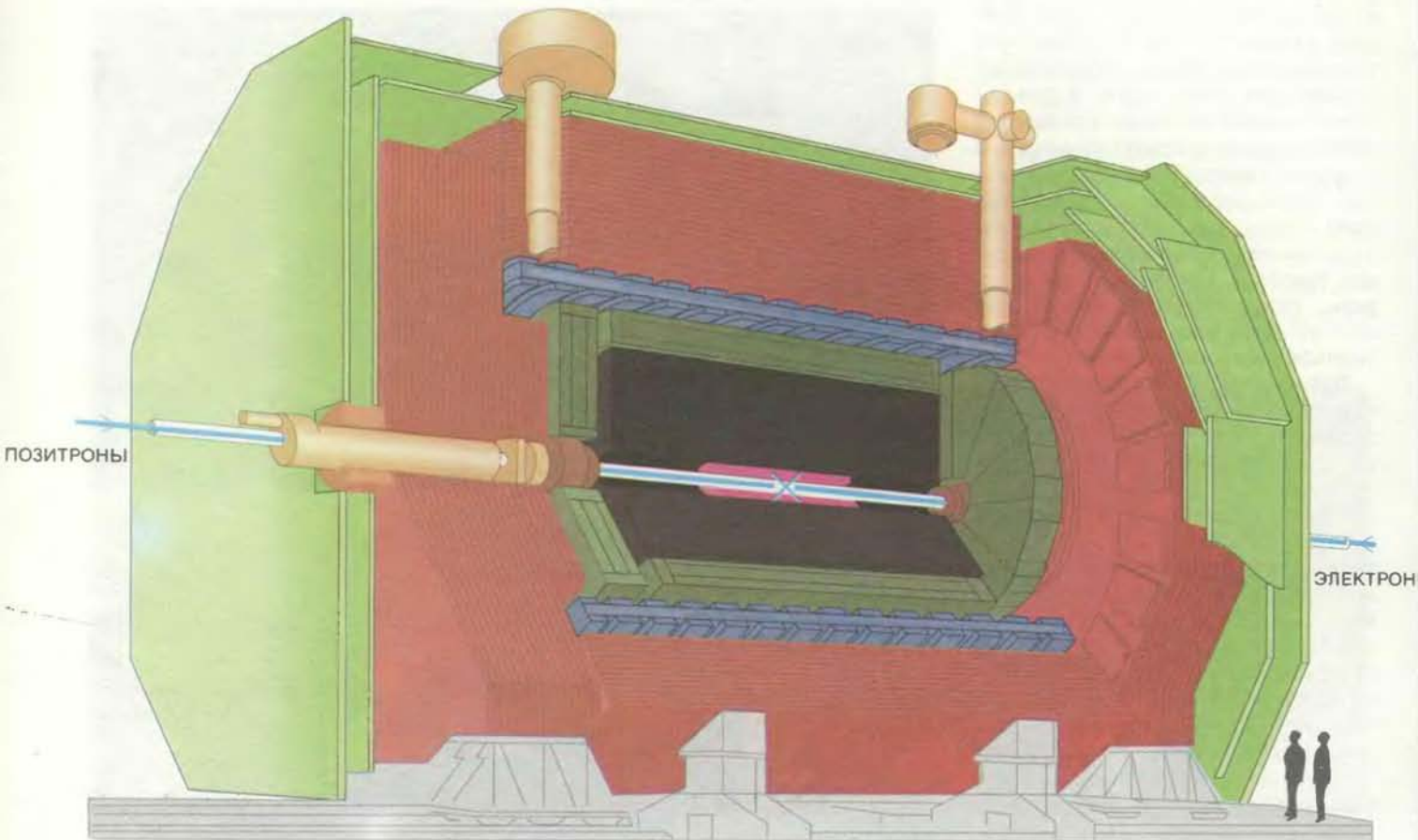
Фотографии обеспечивали полную и детальную запись событий в такой форме, что опытные физики могли интерпретировать их с первого взгляда. В конце 60-х годов для автоматизированного просмотра снимков стали применять компьютеры. Однако сложные изображения часто «ставили компьютеры в тупик», и такие случаи анализировал оператор.

Запись событий на фотопленку стала невозможной в связи с возрастанием мощности ускорителей, которые производят тысячи частиц в секунду. Тогда физики изобрели сложные электронные детекторы. Поскольку информация собирается теперь электронными системами, компьютеры стали важнейшим средством, позволяющим быстро принимать решения в процессе набора данных.

И все же при анализе данных физики пока не могут полностью положиться на компьютеры. Автоматизированное изучение зарегистрированных событий ограничено «предвидением» программ, созданных человеком. Такие системы могут выборочно подавлять информацию или затушевывать необычные явления. Пока ученые не придумали программу распознавания изображений, которая работала бы лучше человеческого мозга, необходимо создавать видимые образы наиболее сложных и интересных событий, чтобы физики могли их изучить. Этой стратегией руководство

ИЗОБРАЖЕНИЯ ЧАСТИЦ совершенствовались по мере того, как физики создавали детекторы новых типов. Когда частицы проходят через пузырьковую камеру, они оставляют след, который можно сфотографировать (вверху). В искровых камерах частицы стимулируют развитие искровых разрядов, которые регистрируются электронными устройствами. Сигналы поступают в компьютер, создающий изображение (в середине). Изображение внизу представляет процесс, зарегистрированный детектором Delphi на коллайдере LEP. Показан распад частицы Z^0 на две струи адронов и два мюона (отдельные траектории справа).





ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ событий позволяет физикам сделать видимыми траектории и энергии частиц внутри детектора (в данном случае — в эксперименте ALEPH). Вверху показано устройство детектора ALEPH. Изображения на следующей странице представляют одно и то же событие с трех разных точек наблюдения.

- Счетчик мюонов
- Адронный калориметр
- Магнит
- Электрон-фотонный калориметр
- Внешняя трековая камера
- Внутренняя трековая камера

- ○ ○ Путь частицы
- Точки в калориметре, куда попала частица
- Регистрация адронов (длина цветной полоски пропорциональна энергии адрона)
- Регистрация электронов или фотонов (длина цветной полоски пропорциональна энергии частицы)

вались конструкторы, приступившие к разработке детекторов для коллайдера LEP в начале 80-х годов.

КОЛЛАЙДЕР LEP и его детекторы размещены в подземном туннеле, сооруженном под горным массивом Юра, пересекающим франко-швейцарскую границу. Коллайдер состоит из магнитов и ускоряющих резонаторов, которые окружают кольцевую траекторию ускорения длиной окружности 26,7 км. Магниты удерживают на траектории электроны и позитроны, вращающиеся в противоположных направлениях. Резонаторы сообщают частицам энергию, ускоряя их до 50 млрд. эВ. Электроны и позитроны испытывают лобовые столкновения в центре четырех детекторов: ALEPH, DELPHI, L3 и OPAL (см. статью: Стивен Майер, Эмилио Пикассо. Большой электрон-позитронный коллайдер, «В мире науки», 1990, № 9).

При столкновениях электронов и позитронов высвобождается около

100 млрд. эВ; частота столкновений превышает соответствующий показатель для всех других электрон-позитронных ускорителей в мире. Высвобождаемая энергия идет на рождение короткоживущих частиц, почти всегда — на образование Z^0 -частиц, которые затем распадаются на множество более легких частиц.

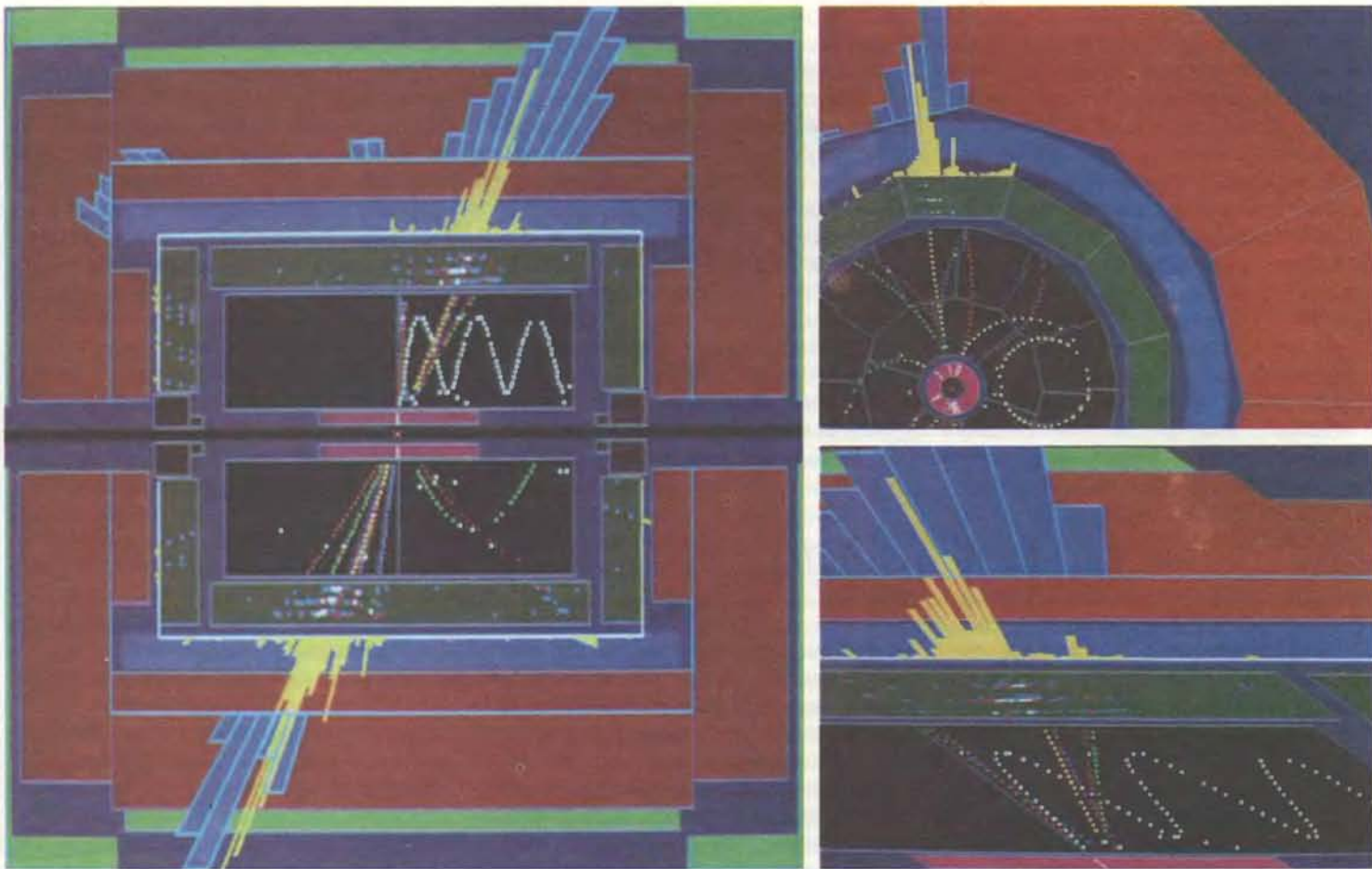
Основная задача детекторов LEP — установить, как много таких частиц может родиться. Для этого в детекторах ALEPH, DELPHI, L3 и OPAL используются сходные, но слегка различающиеся технические методы. Возможно, четыре детектора LEP представляют собой наиболее чувствительные и сложные устройства из всех созданных ранее.

В недрах тысячеконных детекторов, напичканных сложнейшими датчиками, происходят столкновения электронов с позитронами. Родившаяся в соударении частица сначала попадает в трековую камеру, заполненную газом. При пролете через газ заряженная частица оставляет за со-

бой след из электронов. Эти электроны в свою очередь пролетают мимо чувствительных проволочек, подавая сигналы, которые позже используются для определения положения ионизованного следа, т. е. для нахождения траектории родившейся частицы. Трековые камеры коллайдера LEP обычно «засекают» положение частиц с точностью до 50 миллионов долей метра.

Следующими главными компонентами детекторов являются внутренние и внешние калориметры, которые измеряют энергии частиц. В каждом калориметре имеются десятки тысяч датчиков. Когда частица попадает на один из них, подается сигнал, уровень которого пропорционален ее энергии. Положение этого датчика в калориметре фиксирует также местонахождение частицы.

Внутренний калориметр реагирует только на электроны и фотоны. Внешние калориметры поглощают адроны — частицы, которые, состоят из кварков.



Частицы, называемые мюонами и нейтрино, в калориметрах не регистрируются. Мюон, массивный двойник электрона, — это единственная заряженная частица, проникающая через калориметры. Поэтому мюоны идентифицируют в трековых камерах, окружающих калориметры. Нейтрино не имеют электрического заряда и потому вообще не регистрируются. Их присутствие обнаруживается косвенным путем по траекториям и энергиям других частиц.

Трековые камеры и большинство калориметров окружены магнитами, которые влияют на поведение заряженных частиц в детекторе. Контроль за действием поля на частицы помогает их идентифицировать и определить величину их импульса.

ДЕТЕКТОРЫ LEP спроектированы для «охвата» 50 000 электрон-позитронных столкновений в секунду. При каждом столкновении некоторые из 500 000 компонентов детектора посылают электрический сигнал, который затем превращается в информацию о положении или энергии частицы. Сигналы передаются в электронные процессоры обработки данных. Эта система ищет ключевые сигналы, указывающие, «интересно» ли данное столкновение. Если нет, то система «отбрасывает» соответствующие данные. Лишь одно или два из 50 000 столк-

новений в конечном итоге будут записаны в память компьютера.

Для передачи физикам существенной информации о событии, мы с коллегами создали много компьютерных программ, которые превращают записанные данные в изображения. Некоторые программы сортируют события и пытаются разгадать, сколько частиц родилось в столкновении и как они двигались.

Другие программы обеспечивают получение изображений траекторий частиц относительно друг друга и систем детектора. Эти программы указывают также, где калориметры «захватили» частицы и какая энергия была ими поглощена. Например, чтобы дать представление о распределении энергии между частицами, программа может окрасить в определенный цвет траектории частиц с энергиями, попадающими в пределы заданного интервала.

Компьютерные программы позволяют пользователю выбрать способ представления данных. Указывая на экране компьютера на некий объект, физик может получить дополнительные сведения об этом объекте. Таким образом, изображение на экране играет роль оглавления для информации, собранной детектором о данном событии.

Одной из важных особенностей наших программ является способность

представлять информацию о событиях в трех пространственных измерениях на плоском экране. Если изображение события дается при наблюдении только из одной точки, его можно неправильно интерпретировать, поскольку некоторые треки могут выглядеть очень близкими друг к другу, в то время как в пространстве они далеко разнесены. Для преодоления этой трудности большинство программ могут представить событие с разных точек или непрерывно менять положение точки наблюдения, как если бы трехмерная модель события вращалась внутри монитора. Такая техника позволяет составить представление о пространственной картине события и быстро найти его наиболее отчетливое изображение.

НА РАННИХ стадиях экспериментов компьютерные программы для получения изображения событий помогали физикам обнаруживать неисправности в системах детекторов. Во время первых сеансов программы иногда выдавали изображения, несовместимые с полученными данными и законами физики. Эти несоответствия были связаны со сбоями в работе отдельных систем детекторов, системы накопления данных или компьютерных программах для их анализа.

Во время экспериментов физики просматривают также случайно вы-

бренные события, чтобы быть уверенными, что все системы функционируют нормально. Такая рутинная работа помогает им «прочувствовать» детектор. Как и любой другой сложный механизм, детектор может иметь некоторые «причуды». Некоторые его части склонны порождать проблемы, а другие могут неожиданно выйти из строя. Знание таких случаев важно для точного анализа экспериментальных данных.

В конечном итоге полученные изображения служат средством для обнаружения новых явлений. Они позволяют физикам опознать неожиданные конфигурации среди частиц

или найти корреляции между траекториями и энергиями, отданными калориметрам. Анализируя такие конфигурации и корреляции, специалисты, работающие на коллайдере LEP, внесли значительный вклад в наши знания о частицах Z^0 и процессах, приводящих к рождению кварков и лептонов.

Детекторы LEP дают информацию о структурах размером порядка 10^{-18} м, поэтому их можно рассматривать как микроскопы с чрезвычайно высокой разрешающей способностью, которые позволяют видеть всю красоту мельчайших составляющих Вселенной.

Наука и общество

Упорядоченный хаос

ХАОС предполагает беспорядок и сумятицу. Однако в течение последних десятилетий исследования в физике хаоса обнаружили нечто неожиданное, а именно существование едва заметной упорядоченной структуры в хаотических системах. А в последние несколько месяцев многие ученые показали, что им, возможно, удастся использовать эти открытия в коммерческих целях.

Несмотря на то, что проведенная экспериментальная работа совсем нова, исследователи говорят, что они уже открывают неизвестный ранее мир. Вместо того чтобы избегать хаоса, заявил У. Дитто, научный со-

трудник Центра изучения стратегии военных действий на море, «мы наблюдаем взрыв экспериментальных работ в связи с новыми результатами, показывающими возможность реального использования огромного потенциала, скрытого в хаотических системах».

Эти эксперименты строятся на основе быстро появляющихся новых результатов в теоретическом понимании хаоса. Так, Э. Отт, С. Гребоджи и Дж. Йорке из Мэрилендского университета в прошлом году установили, что хаотическое движение в действительности состоит из бесконечного числа нестабильных периодических движений, или орбит. Учитывая это, они пришли к выводу, что любому ха-

отическому движению можно придать регулярный, периодический характер, если непрерывно прикладывать небольшие силы, которые будут толкать его к одной из этих орбит.

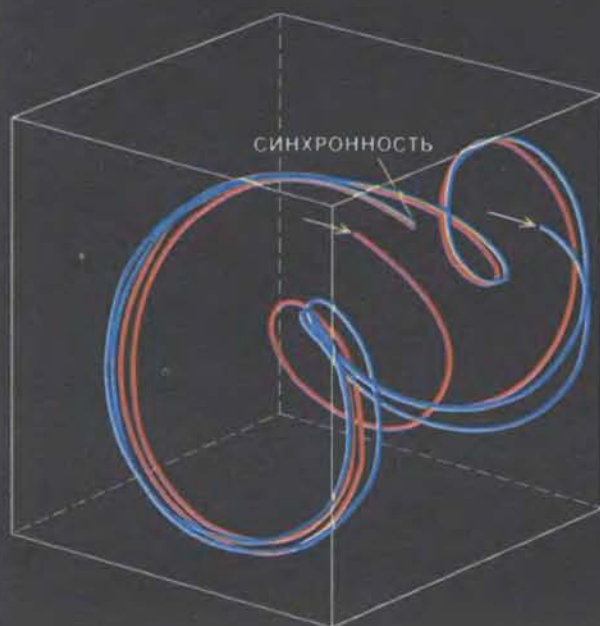
В декабре прошлого года Дитто и двое его коллег, С. Розео и М. Спано, доказали правильность этой гипотезы. Они экспериментировали с «умными» материалами, такими, которые часто нелинейно реагируют на приложенные к ним силы. Одним из таких материалов была полоска из магнитоэластика, который меняет свою жесткость в изменяющемся магнитном поле. Вблизи небольшого магнитного поля полоска стоит прямо, но по мере нарастания его напряженности полоска становится более эластичной и начинает провисать. Дальнейшее усиление магнитного поля приводит к тому, что полоска начинает колебаться в беспорядочном хаотическом «танце».

Следя за изменяющимся положением полоски, ученые составили карту ее хаотического аттрактора, или «рисунка» движения. Как следует из теории, некоторые точки этого рисунка должны соответствовать особым периодическим орбитам. Дитто и его коллеги уловили орбиту, подождали, когда полоска стала двигаться вблизи этой орбиты и затем слегка подрегулировали магнитное поле. Пока они модулировали напряженность магнитного поля, полоска двигалась с регулярной периодичностью. Как только они прекратили модуляцию, полоска вновь начала вести себя хаотично, «подобно шарикю в седловине», по словам Дитто.

Дитто недавно начал сотрудничать с Л. Пекора, ученым из Научно-исследовательской лаборатории ВМС США, который разработал экспериментальные методы синхронизации хаотических сигналов. «Идея возникла у меня в январе 1989 г.», — заявил Пекора. За год Пекора и его коллега Т. Кэрролл построили свои первые синхронизированные хаотические схемы, которые настолько просты, что, как указал Пекора, «вы можете изготовить их с помощью тех технических средств, которые имеются в вашей электронной лаборатории».

Однако математические принципы, лежащие в основе поведения этих схем и координации сигналов, не столь тривиальны. Пекора разработал критерий стабильности, который описывает специфические хаотические сигналы, заставляющие нелинейные системы синхронизироваться. Пекора и Кэрролл построили в лаборатории простую схему, которая генерировала хаотический сигнал, и еще одну вспомогательную схему, кото-

Синхронизация хаотического поведения



Две электронные схемы начинают генерировать хаотические сигналы на выходе (показано двумя стрелками). Если выходной сигнал одной схемы использовать для управления сигналом на выходе другой схемы, оба сигнала становятся синхронизированными и остаются таковыми бесконечно долго.

рая повторяла часть первой схемы. Она также работала хаотически. Но когда ученые наложили сигнал от полной схемы на сигнал вспомогательной схемы, результирующий сигнал на выходе получался синхронизированным.

А совсем недавно Пекора и Кэрролл продемонстрировали еще один тип синхронизации. В статье для журнала «Physical Review Letters» ученые пишут о том, как они построили две отдельные схемы, которые управляются таким же периодическим сигналом. Вначале системы работали в строго периодическом режиме, но незначительная разница в начальных условиях в конце концов привела к нарушению синфазности в их работе. «Удивительно, что добавление хаоса устраняет нарушение», — сказал Пекора.

В настоящее время фактически во всех технических разработках конструкторы стремятся исключить любое нелинейное поведение системы. Но, как заявил Пекора, наступает время, когда люди в большей степени захотят использовать нелинейность. Так, многие биологические процессы, как, например, биение сердца, хаотичны по своей природе. Пекора как раз занимается исследованием, смогут ли его методы послужить более надежным инструментом для того, чтобы заставить сбившееся с ритма сердце вновь работать в нормальном режиме. Используя аналогичный принцип, можно в конечном итоге усовершенствовать работу компьютерных сетей с помощью хаотической синхронизации.

Среди других исследователей, изучающих возможности применения хаоса в области обработки сигналов, отметим С. Хаммела, также работающего в упомянутом Центре изучения стратегии военных действий на море. Он разработал метод поиска хаотического сигнала в потоке случайного шума. Хаммел вместе с Йорке и Гребоджи начал с размышления над классической дилеммой в теории вычислений: является результат сложной серии вычислительных операций в компьютере правильным, или эти вычисления хаотически расходятся с правильным ответом? Анализируя частные решения данной проблемы с помощью компьютеров, они математически доказали, что «верное» решение действительно существует вблизи ответа, получаемого путем вычислительных операций в компьютере.

Затем Хаммел использовал это доказательство для разработки практического метода, позволяющего уменьшить подавление хаотического

сигнала шумом. Хаммел понял, что в отличие от линейных систем, которые могут снизить суммарный шум системы на какой-то средний процент, он может существенно улучшить определенные участки сигнала (даже если другие его участки подавлены шумом) в зависимости от математических характеристик фонового сигнала.

Хаммел указывает, что только при работе с участками сигнала можно получить достаточное количество информации, чтобы характеризовать самое существенное в сигнале. Недавно сотрудники Национальной лаборатории в Ок-Ридже предложили, чтобы он проверил свои методы на совокупности данных — временном ряде шумов, создаваемых системой передачи тепла внутри ядерного реактора. «Это сложный сигнал, в котором присутствуют все виды шума — от тех, что создаются насосами, до тех, которые исходят от подшипников или текущего по трубам охладителя», — сказал Хаммел. Он полагает, что может перестроить фоновый сигнал в достаточной степени, чтобы можно было сравнить, как отдельные составляющие сигнала функционально меняются во времени. «Это выходит за рамки традиционных методов обработки сигналов», — сказал он. Хаммел предсказывает, что, если ему удастся разобраться в данных, обработка хаотических сигналов, возможно, станет обычным методом испытаний «без вмешательства».

Более скорым применением этого метода в обработке сигналов могут стать основанные на хаосе коды для ячеистых средств связи и для расшифровки кодированных сообщений. Например, Г. Фредриксен из Института усовершенствования офицеров ВМС использует карты хаотического поведения для разработки схемы кодирования данных, которая поможет избежать большой плотности станций в радиодиапазоне. Ясность наступила, когда пришла мысль об объединении двух областей — поведения динамических систем и алгоритмов кодирования сигналов связи.

Современные схемы трансляции радиопередач используют алгоритмы, которые распределяют данные по временным «зазорам» в заранее предсказуемом порядке или в случайной последовательности. Приемники потом распределяют данные по логически связанным сообщениям. Фредриксен подсчитал, что, используя вместо этого хаотические сигналы, он сможет намного увеличить количество передач без потери сигнала за счет интерференции. «Силу дает известная, хотя и непредсказуемая при-

рода хаотического процесса», — считает Фредриксен.

Насколько быстро ученые реализуют свои теоретические выводы на практике, будет, наверное, известно на первой официальной конференции, посвященной экспериментальным работам в области хаоса и организованной при участии Дитто и Пекора. «Мы хотим, чтобы конференция сосредоточила свое внимание на прикладных проблемах хаоса», — заявил Дитто.

Отметим еще один аспект рассматриваемой проблемы. Одно из заинтересованных лиц, давно следящих за развитием работ в данной области, уже распространяет «деловой план» в надежде привлечь внимание инвесторов и вызвать у них коммерческий интерес к методам обработки сигналов, основанным на хаосе. Речь идет о Хелене Вишневской, которая возглавляет работы по применению перспективных компьютеров и средств программного обеспечения в корпорации Lockheed. Три года она проработала в Агентстве перспективных исследований министерства обороны, которое финансирует исследования в области теоретических и прикладных проблем хаоса. Она считает, что многие работы, как, скажем, методы кодирования Фредриксена, уже готовы для разработки на их основе практических проектов. «В течение 2—3 лет мы получим опытный образец этих кодов, — заявила она. — Это, конечно, не готовый продукт, но его уже можно дать в руки людям, которые используют эти образцы и всесторонне их испытывают».

Элизабет Коркоран

НАПОМИНАЕМ АДРЕСА МАГАЗИНОВ — ОПОРНЫХ ПУНКТОВ ИЗДАТЕЛЬСТВА «МИР»

480064 Алма-Ата,
просп. Абая, 35,
магазин «Прогресс»

660036 Красноярск,
Академгородок,
магазин № 101

125315 Москва,
Ленинградский просп., 78,
магазин № 19 «Мир»

634034 Томск,
ул. Нахимова, 15/1,
магазин № 15



Прежде шахтеры брали в заботу канареек, чтобы по их поведению узнавать о появлении угарного газа. В современных угольных шахтах используются сложные «заменители» канареек, состоящие из молекулярных компонентов растений или животных, соединенных с микроскопическими электродами или

оптическими нитями

ДЖЕРОМ С. ШУЛЬЦ

ШЕСТИДЕСЯТИТРЕХЛЕТНИЙ пациент лежит на больничной койке, приходя в себя после обычной операции вправления бедра. Внезапно его сердце начинает биться аритмично. Врачи и сестры пытаются восстановить нормальную работу сердца, а для этого берут у больного образцы крови для определения содержания кислорода, кальция, калия, pH и других параметров, которые помогли бы распознать причину опасности.

Как правило, результаты лабораторных исследований бывают готовы через час или более, когда они уже могут оказаться ненужными. Более того, результаты химического анализа крови через 10 или 15 минут после начала аритмии — это еще не вся информация, которая нужна врачам. Еще важнее знать, как меняется химический состав крови перед началом аритмии.

Биосенсоры — детекторы, в основе которых лежат селективные молекулярные компоненты растений или животных, — позволяют брать анализы непосредственно у постели больного в течение нескольких минут. Сейчас разрабатываются системы, которые дают не только «мгновенный снимок» состояния больного, но и постоянную «биохимическую видеограмму».

Современный биосенсор — «дитя любви» двух, в корне различных технологий: информационной технологии (к ней относится производство интегральных схем и оптических волокон) и молекулярной биологии. Первая дает микроэлектроды и оптические датчики, вторая — биомолекулы, которые могут «распознавать» исследуемые соединения.

Применение этих устройств так же разнообразно, как и входящие в их состав молекулы. В медицине биосенсоры должны принести пользу не только для клинических анализов, но и при

производстве фармацевтических препаратов и разработке таких замещающих органов, как искусственная поджелудочная железа для больных диабетом. Предполагается также использовать биосенсоры для определения качества пищевых продуктов и оценки загрязнений окружающей среды.

ПОЯВЛЕНИЕ первого биосенсора относится к середине 1950-х годов, когда Леланд К. Кларк из Исследовательского фонда детских больных в Цинциннати изобрел электрод для измерения растворенного в крови кислорода в ходе хирургической операции. С этой целью он заключил стандартный платиновый электрод и сравнивающий электрод в пластмассовую оболочку, проницаемую для газов. Потенциал платинового электрода выбирался таким, чтобы ток в цепи зависел от скорости диффузии кислорода через оболочку; в свою очередь, скорость диффузии была прямо пропорциональна концентрации кислорода вне оболочки.

К 1962 г. Кларк приспособил «кислородный электрод» для определения концентрации глюкозы в крови. Для этого он окружил кислородный датчик слоем геля, содержащего биокатализатор (фермент глюкозооксидазу), и полупроницаемой диализной мембраной, позволяющей глюкозе диффундировать к датчику, но пре-

пятствующей выходу фермента из электрода. Эта мембрана не пропускала также ферменты, которые могли бы разрушить биокатализатор. Чем больше глюкозы поступает в устройство, тем больше кислорода образуется под действием фермента. Данные по кислороду преобразуются непосредственно в данные по концентрации глюкозы.

Устройство Кларка не получило широкого распространения в практической медицине. Его точность сильно зависела от скорости диффузии кислорода и глюкозы, но эта скорость могла изменяться и в результате изменения концентрации кислоро-

В ИГЛЕ ШПРИЦА размещен разработанный автором биосенсор для измерения концентрации глюкозы. Диффундирующая в биосенсор глюкоза вытесняет меченный флуоресцеином декстран из участков связывания на внутренней поверхности сенсора. Лазерный свет, распространяясь по оптическому волокну, попадает в сенсор и возбуждает молекулы свободного декстрана; по волокну на детектор идет и результирующий сигнал.



да в крови больного, и в результате образования сгустка на поверхности датчика. Тем не менее это устройство послужило концептуальной базой для последующих работ Кларка и других исследователей: разработки биологической системы, чувствительной к определенному соединению, физического «проводника», преобразующего химические изменения в измеряемые, и мембран, разделяющих элементы сенсора и отделяющих их от внешней среды.

Следующий важный шаг в развитии биосенсоров был сделан в 1969 г. Джорджем Ж. Гибо из Университета шт. Луизиана в Новом Орлеане. Гибо создал систему для определения мочевины в тканевых жидкостях по уреазе — ферменту, превращающему мочевину в двуокись углерода и аммоний. Встроенный в систему электрод регистрировал изменения концентрации ионов аммония. Биосенсор Гибо ознаменовал собой новый этап, поскольку изобретатель использовал потенциометрическое детектирование, получившее с тех пор широкое распространение.

Если датчик Кларка измерял ток, протекающий через электрод, то потенциометрический датчик регистрирует изменение напряжения, необходимое для поддержания тока на нулевом уровне. Электрод не потребляет продуктов реакции, что делает его ме-

нее чувствительным к изменениям внешней среды. Кроме того, потенциометрический метод регистрации имеет логарифмическую шкалу отклика, что позволяет отслеживать 100-кратные изменения концентрации анализируемого вещества.

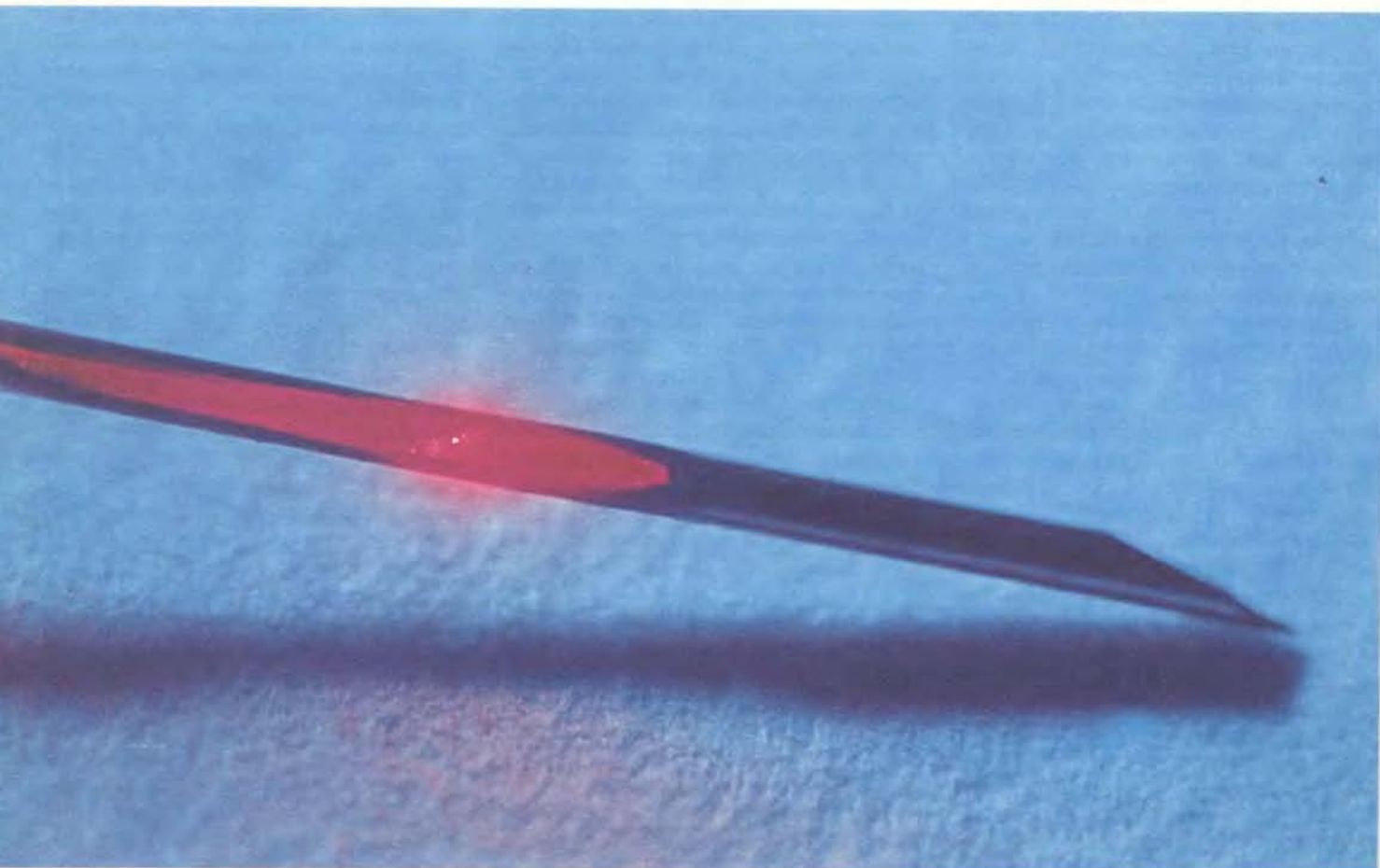
ЗА ДЕСЯТИЛЕТИЯ, прошедшие со времени появления этих электрохимических методов, в биосенсорах было использовано около 100 различных ферментов. Исследователи, однако, поняли, что индивидуальные ферменты — это не единственные подходящие биокатализаторы. Как показал недавно Шарри А. Рехниц из Гавайского университета, препараты тканей могут обеспечить комплексные последовательности реакций, формирующие отклик на воздействие аминокислот и других биологически важных молекул. Рехниц использовал мякоть банана для определения содержания дофамина, зерна кукурузы для пирувата, листья огурцов для цистеина, сахарную свеклу для тирозина, печень кролика для гуанина и истолченные в порошок мышцы кролика для аденозинмонофосфата.

Рехниц не остановился на достигнутом в использовании частей биологических систем: один из его сенсоров включает в себя антеннулы, или мелкие сенсорные органы, голубого мэрилендского краба, отсеченные таким

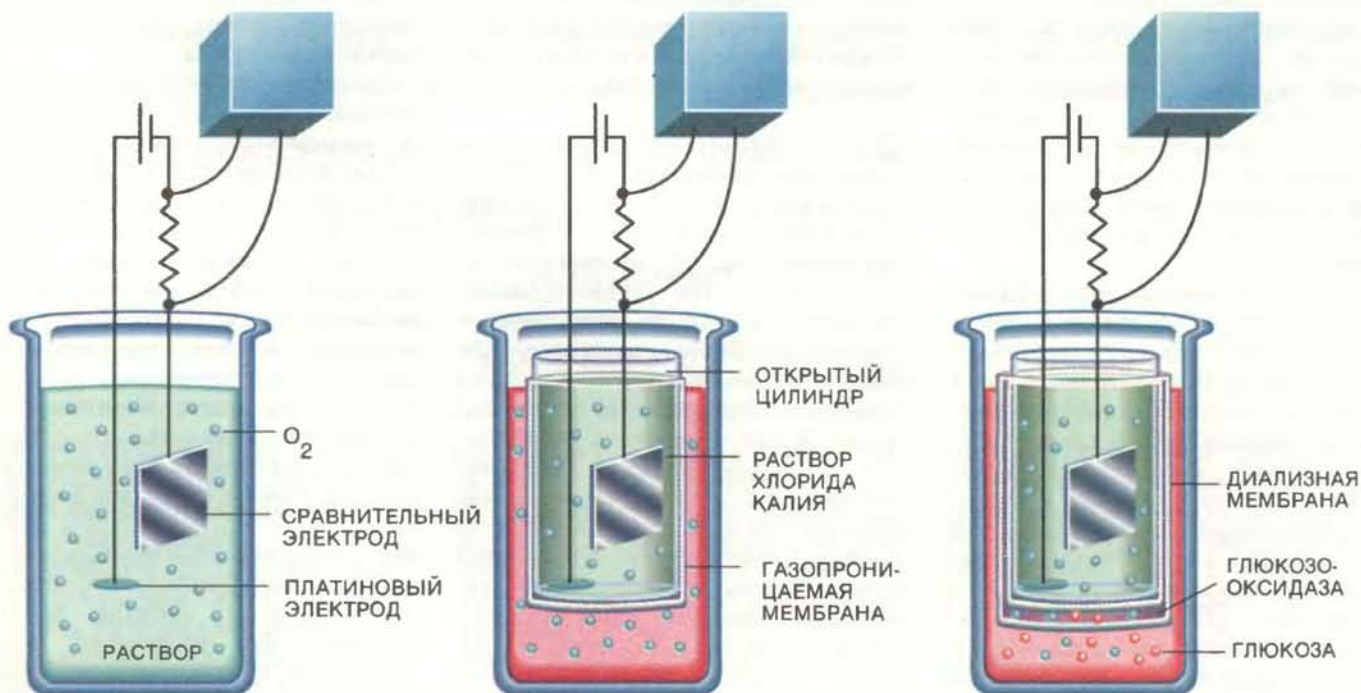
образом, что бы их нервные окончания можно было бы соединить с электродами. Основанная на этих антеннулах система способна измерять концентрации многих ядов и токсинов окружающей среды.

Сенсор на основе антеннул краба и сходные с ними системы представляют возможность понять их информационно-передающую структуру и создать более простые сенсоры, включающие те же самые молекулы. Такие сенсоры обладают также преимуществами обобщенной рецепции: если ферменты и антитела имеют замечательное свойство обнаруживать индивидуальные соединения, то другие биомолекулы могут оказаться более полезными в выявлении представителей широкого класса химических соединений. Ричард Ф. Тэйлор из фирмы Arthur D. Little, Inc. создал, например, сенсор на основе мембранных рецепторов ацетилхолина, передающих информацию от нервных волокон мышцам. Это устройство может определять присутствие нескольких различных нервно-паралитических газов.

Одним из ключевых факторов, способствовавших выходу биосенсоров из лабораторий в повседневную жизнь, стало развитие технологии, вообще говоря не связанной с разработкой биосенсоров, а именно методов стабилизации биомолекул и при-



Разработка глюкозного биосенсора



ТОК между смещенным платиновым электродом и сравнивающим электродом указывает на количество кислорода в растворе.

ГАЗОПРОНИЦАЕМАЯ мембрана отделяет электроды от крови или других биологических жидкостей, но пропускает кислород в раствор хлорида натрия, окружающий электроды.

ДИАЛИЗНАЯ мембрана, проницаемая для ионов и небольших молекул, ограничивает гель, содержащий фермент глюкозооксидазу, который превращает глюкозу в глюконовую кислоту с потреблением кислорода. Скорость, с которой кислород поступает во внутренний раствор, обратно пропорциональна уровню глюкозы в крови.

крепления их к поверхности без потери активности. (Нарезать бананы у постели больного, чтобы измерять содержание дофамина — дело непрактичное.) Многие из подходов, используемых для связывания ферментов или антител с поверхностями в лабораторных тестах и биохимических производственных процессах, могут применяться и для присоединения молекул к биосенсорам.

Извлечение белков из их внутриклеточного окружения может приводить к разрушению их структуры и повышению восприимчивости к химическим «атакам», но технические приемы, направленные на связывание белков с субстратом, способствуют и стабилизации этих белков. Химические связи, удерживающие молекулу белка в бусинках полимеров, могут «сшивать» участки молекул белка таким образом, чтобы препятствовать его разворачиванию и увеличивать резистентность к ферментативной деградации. В результате биосенсоры могут сохраняться в сухой или в увлажненной форме в течение недель или месяцев, а в ряде случаев они не теряют активности даже после года хранения.

Широкие возможности для усовершенствования биосенсоров были предоставлены и мембранными технологиями. Сейчас удается конструировать мембраны для разделения растворенных веществ по размеру молекул, заряду или растворимости. Одна из широко используемых лабораторных тест-систем включает не менее полудюжины мембранных слоев, каждый из которых обладает различными свойствами и содержит разные реагенты. Последние достижения в изучении свойств липидных бислоев, аналогичных бислоям поверхностным мембранам клеток, сделали возможным включение рецепторных белков из клеточных мембран (таких как рецепторы ацетилхолина) в биосенсоры в условиях, имитирующих природное окружение рецепторов.

ХОТЯ ОТКРЫТИЯ в области биотехнологии несомненно способствовали улучшению биосенсоров, но все же дешевыми и доступными их сделала полупроводниковая промышленность. В начале 1970-х годов Джеймс Б. Энгелл из Станфордского университета и Кенселл Д. Вайз из Мичиганского университета созда-

ли множественные миниатюрные электроды на кремниевых кристаллах, с помощью которых стало возможным проводить электрохимические измерения тканей нервной системы. Йири Йаната из Университета Итаки покрыл затвор полевого транзистора заменителем антител конканавалином А (КонаА) и получил детектор, названный СЕМФЕТ. Дальнейшие исследования привели к разработке общей технологии включения химических компонентов и интегральных схем в единую систему.

Первый детектор глюкозы Кларка был около сантиметра в диаметре: в последнее десятилетие технология производства интегральных схем позволила создать миниатюрные сенсорные электроды диаметром всего несколько сотых долей миллиметра. Устройства, по существу сходные с принтерами компьютеров, способны наносить реагенты и мембраны на кончики таких электродов строго упорядоченным образом. Такие промышленные методы позволяют штамповать тысячи и даже миллионы идентичных сенсоров с очень низкой себестоимостью. Благодаря этому медицинские работники могут по-

зволить себе выбрасывать сенсоры после их однократного использования во избежание переноса инфекции.

Новые дешевые сенсоры стали поистине благом для диабетиков, которым нужно несколько раз в день определять уровень сахара в крови. Одна из таких систем, разработанная на основе исследований Энтони П. Ф. Тэрнера из Гренфильдского технологического института в Англии, включает в себя комбинацию сенсора с усилителем на интегральной схеме и дисплеем на жидких кристаллах, причем все устройство по своим размерам не больше авторучки. Фермент сенсора, как и в исходном детекторе Кларка, превращает глюкозу в глюконовую кислоту, но далее «посредник», которым служит ферроцен, возвращает фермент в реакционноспособное состояние, а сам реактивируется под влиянием электродного тока. Устройство не потребляет никаких реагентов и способно функционировать в течение длительного времени.

Выбор химически чувствительных электродов все более расширяется, и медики могут теперь использовать ферментативные реакции, вызывающие изменения не только концентрации кислорода или pH. Биосенсоры для нескольких различных веществ удается разместить на одном кристалле. Врач мог бы ввести катетер с таким кристаллом в вену больного и осуществлять постоянное наблюдение химического состава крови или других факторов по существу таким же образом, как это сейчас делается в отношении частоты пульса, давления крови и функций мозга.

щения в жидкостях, флуориметрами, регистрирующими вторичную эмиссию света с определенной длиной волны, или турбидиметрами для измерения прозрачности.

Имеются три основных типа оптоволоконных сенсоров. К первому относятся устройства, аналогичные электронным биосенсорам, регистрирующие изменения не электрических, а оптических свойств вещества. К двум другим типам относятся устройства с исчезающей волной и с поверхностным плазмоном, в которых используются особые свойства распространения света по оптическим волокнам.

Оптические сенсоры первого типа включают ячейку, окруженную полупроницаемой мембраной, реагенты, располагающиеся внутри мембраны или связанные с ее внутренней поверхностью, световоды для освещения ячейки, и детекторы, измеряющие изменение оптических свойств. В большинстве случаев одна и та же оптическая нить служит и для освещения ячейки, и для улавливания проходящего или отраженного света.

Опыт моей работы в области биохимической технологии, в частности в проектах создания различных искусственных органов, позволил применить эти оптические методы для создания нового глюкозного сенсора, который может оказаться наиболее подходящим при разработке искусственной поджелудочной железы. Врачи, с которыми я работал, отмечали, что существует множество прекрасных инсулиновых насосиков, но все

они должны настраиваться вручную в зависимости от анализа крови. Идеальный сенсор с клинической точки зрения должен вести регистрацию в непрерывном режиме, не потреблять в ходе анализа ни глюкозу (т. е. регистрировать подлинно равновесную концентрацию), ни другие реагенты, не иметь электрических контактов с телом и, по мере возможности, должен быть неинвазивным, чтобы не вызвать воспаления или другие реакции организма.

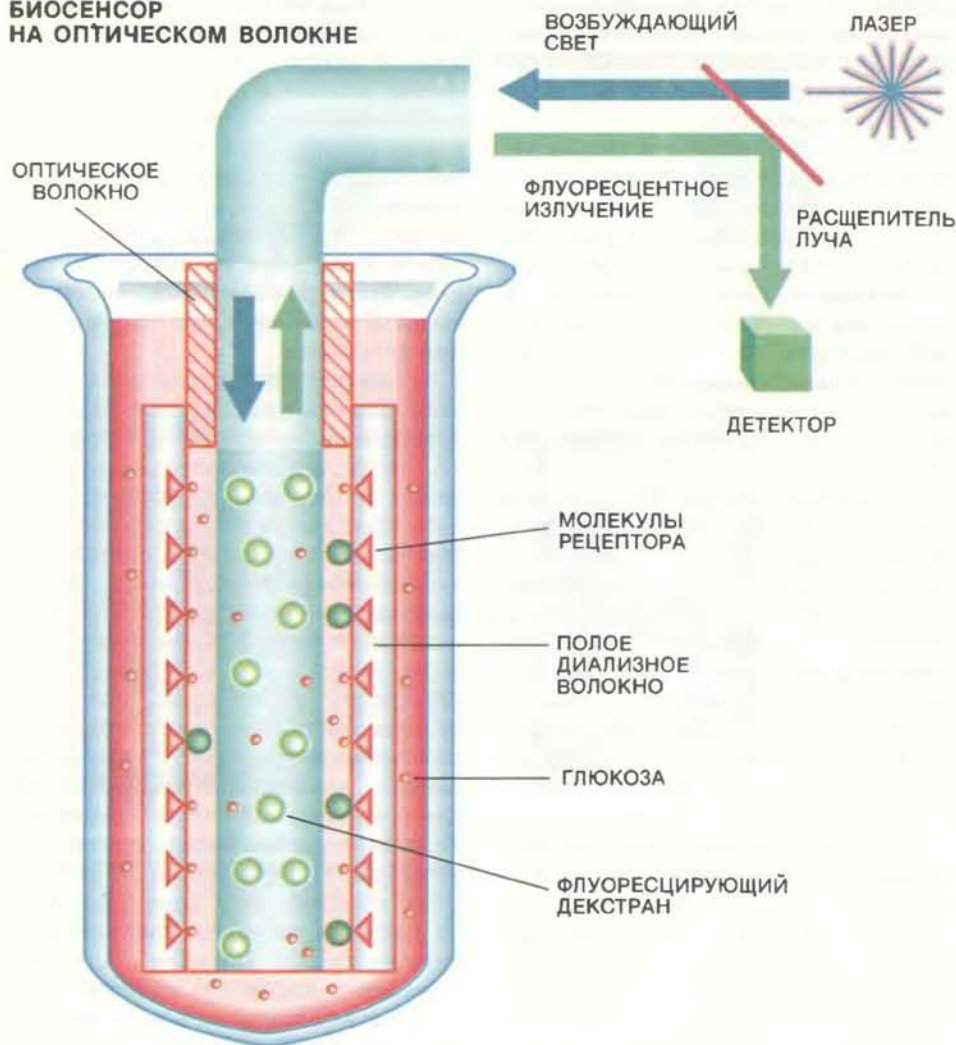
Созданное мной устройство отвечало большинству, хотя и не всем, требованиям клиницистов. Кроме того, оно послужило прототипом оптических биосенсоров, способных выявлять практически неограниченный набор молекул. В основу конструкции этого прибора был положен известный метод иммунофлуоресцентного анализа. В данном случае КонА, связывающийся как с глюкозой, так и с декстраном (полимером глюкозы), прикрепляется к внутренней части поллой диализной трубки — полупроницаемой мембраны, разработанной для искусственной почки. Трубка заполняется разбавленным раствором меченого флуоресцеином декстрана. Этот комплекс декстрана в отличие от глюкозы не может диффундировать из трубки. По мере вхождения глюкозы в сенсор она вытесняет декстран из комплексов с КонА; чем выше концентрация глюкозы, тем больше декстрана вытесняется в раствор. При этом луч света, выходящий из оптического волокна, заставляет флуоресцировать находящийся в раство-

ВТО ВРЕМЯ как одни исследователи были заняты миниатюризацией электронных биосенсоров, другие разрабатывали принципиально новые системы, базирующиеся на оптических сенсорах. Быстрое развитие промышленности полупроводников и средств связи привело к созданию высокоэффективных оптических световодов, устройств для переработки оптических сигналов, интегральных систем расщепления пучков света и волновых фильтров, миниатюрных монохроматических источников света, таких как светоизлучающие диоды и твердотельные лазеры. В 1969 г. Джеральд Г. Вурек и Роберт Бауман из Национальных институтов здоровья продемонстрировали один из первых оптоволоконных сенсоров для клинических анализов: колориметр, измеряющий связывание красителя с почечными канальцами. Оптические волокна могут служить дистанционными спектрофотометрами, измеряющими спектры отражения или погло-

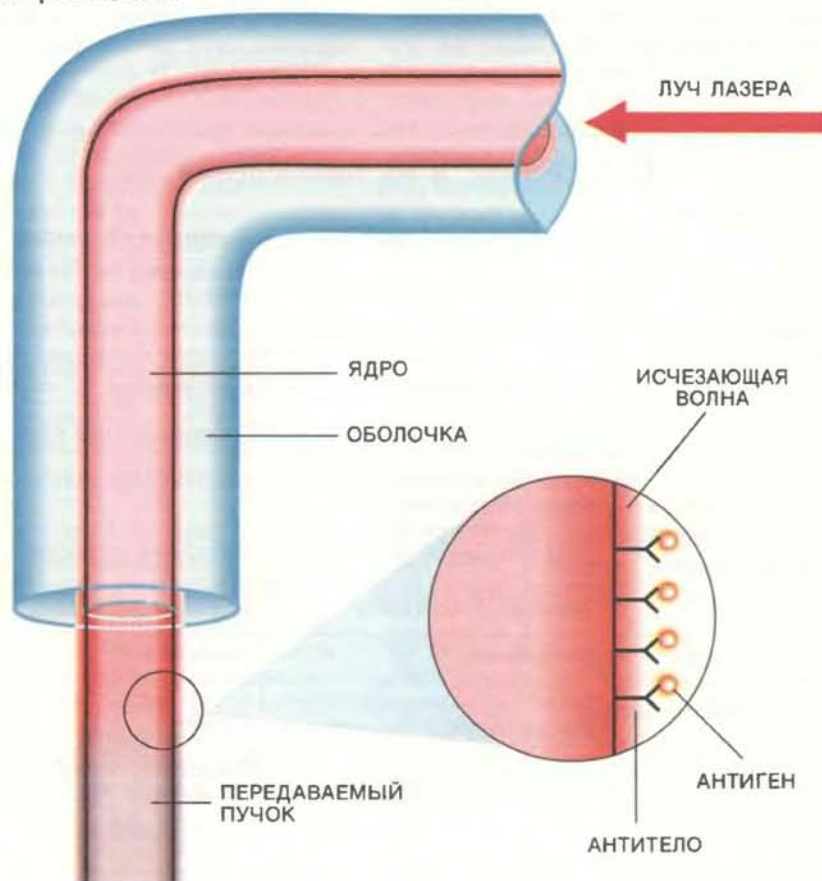
Биосенсоры и их применения

Измеряемое вещество	Биологический сенсор	Физический сенсор
Бензо(а)пирен	Антитело к бензо(а)пирену	Флуориметр на оптическом волокне
Креатинин	Креатининиминогидролаза	Полевой транзистор
Этанол	NADH и дегидрогеназа	Окислительно-восстановительный электрод
γ -Глобулин	Антитело к γ -глобулину	Поляризованный свет
Лидокаин	Антитело к лидокаину и комплексу ферроцен—лидокаин	Кислородный электрод
Нервно-паралитический газ	Рецептор ацетилхолина	Измерение проводимости
Паратион	Антитело к паратиону	Пьезокристалл
Пенициллин	β -лактамаза	Термистор
Тестостерон	Ферменты биолоуминисценции: дегидрогеназа и люцифераза	Флуориметр на оптическом волокне
Теофиллин	Антитело к теофиллину	Поверхностный резонанс на эффе́кте плазмона
Витамин B ₁₂	Бактерии <i>Escherichia coli</i>	Кислородный электрод

БИОСЕНСОР НА ОПТИЧЕСКОМ ВОЛОКНЕ



СЕНСОР НА ЭФФЕКТЕ ИСЧЕЗАЮЩЕЙ ВОЛНЫ



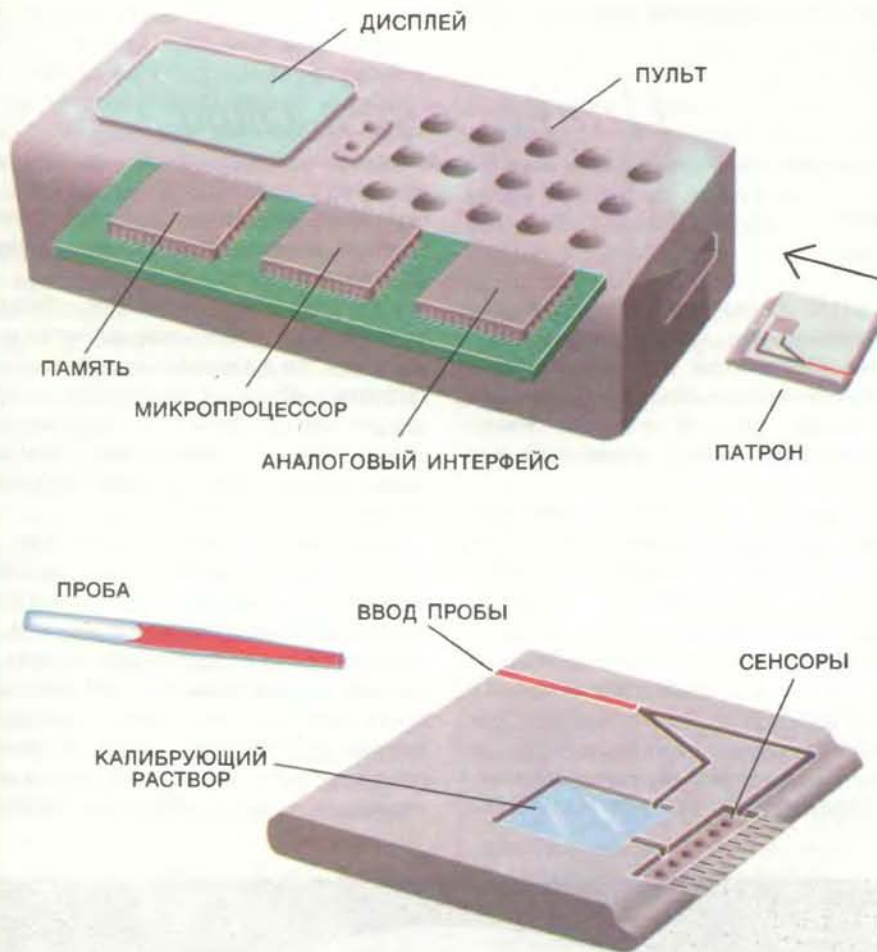
ре декстран, т. е. генерирует поддающийся регистрации сигнал; молекулы декстрана, связанные с КонА на поверхности диализной трубки, оказываются вне пучка света и, следовательно, не создают сигналов.

Диализная трубка не только обеспечивает замкнутый объем, в котором происходит реакция, но также сохраняет реагенты. При типичном лабораторном анализе меченный флуоресцентным декстран (или другой маркер) необратимо теряется в ходе реакции. По этой причине КонА (или лиганд другого типа) не может быть повторно использован после прямого взаимодействия с тканевыми жидкостями. «Упаковка» всей системы в биосенсор обеспечивает возможность постоянных и длительных измерений. И все же у этого устройства есть ахиллесова пята — оно инвазивно, иначе говоря, для обеспечения контакта с кровью оно должно быть введено в ткань. При его использовании не исключены инфекции и воспалительные процессы. К сожалению, никому еще не удалось придумать, как заставить организм переносить присутствие зондов такого рода в течение достаточно долгого периода.

В конструкции оптических сенсоров второго типа использован принцип исчезающей волны, здесь не происходит дифференциация меченых биомолекул, вытесненных из комплексов с рецепторами, и молекул, находящихся в растворе. В этих сенсорах осуществляется непосредственная оценка конкурентного связывания. Физическая основа метода заключается в

БИОСЕНСОР на волоконной оптике (вверху) содержит молекулы рецепторов, прикрепленные к внутренней поверхности полупроводящей диализной мембраны, и связанные с этими рецепторами крупные флуоресцирующие молекулы (декстран). Когда выявляемые биосенсором молекулы диффундируют в сенсор, они вытесняют флуоресцентно-меченные молекулы. Меченые молекулы удерживаются в растворе полупроницаемой мембраной. Молекулы поглощают поступающий в сенсор свет от лазерного источника и генерируют сигнал, сила которого пропорциональна количеству немеченых молекул, диффундировавших в сенсор. В конструкции сенсора с исчезающей волной (внизу) использован тот факт, что часть энергии, распространяющейся по оптическому волокну, проникает за боковую границу световода. Антитела или другие молекулы, прикрепленные к поверхности «оголенной» оптической нити, связывают анализируемые соединения, которые под влиянием исчезающей волны активируются и генерируют сигнал.

Анализ у постели больного



Портативный анализатор, проходящий сейчас испытание в больнице Пенсильванского университета, иллюстрирует применение биосенсоров в медицинской практике. I-STAT PCA — одна из нескольких систем больничных биосенсоров, которые, как предполагается, получат широкое распространение на рынке. Этот сенсор проводит одновременно 6 стандартных химических анализов крови человека: на содержание натрия, калия, хлорида, азота мочевины, глюкозы и определение гематокрита. Результаты анализа готовы в течение двух минут.

По точности измерений PCA не уступает лабораторному оборудованию, при этом используется патрон одноразового пользования, содержащий 6 биосенсоров и калибровочный образец. Медсестра вводит в патрон 60 микролитров крови больного, после чего прибор анализирует калибровочный и исследуемый образцы. Результаты анализа выдаются на дисплей и записываются в память с указанием времени анализа и идентификационного номера больного для сравнения с последующими анализами. Конструкция с патроном выбрана для того, чтобы обеспечить возможность проведения других тестов, когда будут разработаны соответствующие сенсоры.

том, что энергия света, проходящего через оптическое волокно, распространяется не только по его сердцевине, часть энергии идет по окружающей области в радиусе около 1000 Å от сердцевины. Если удалить защитную оболочку световода, то любой материал, прилегающий к нити, может поглощать эту исчезающую волну и флуоресцировать. Томас Б. Хиршфельд из Ливерморской национальной лаборатории им. Лоуренса прикреплял антитела к лишенным оболочки оптическим волокнам и измерял естественную флуоресценцию антигенов, связывающихся с этими антителами. Сенсоры с исчезающей волной могут использоваться для измерения конкурентного связывания того же рода, что и в моем глюкозном сенсоре. Если связать антитела с волокнами и затем добавить флуоресцентно меченный антиген и анализируемый раствор, то интенсивность флуоресценции, порождаемой исчезающей волной, будет указывать на отношение количеств меченого и немеченого антигена в анализируемом растворе.

Альтернативой методу исчезаю-

щей волны служит так называемое устройство с поверхностным плазмонном. В нем используется пленка металла (например, серебра), нанесенная на поверхность тонкого стекла, играющего роль световода. Проводящая пленка создает канал (плазмон) для света, в результате чего изменяется критический угол падения, при котором свет захватывается стеклом. Этот новый критический угол очень чувствителен к количеству материала, осевшего на поверхность металлической пленки. Метод поверхностного плазмона не требует меченых молекул и конкурентного теста; если антитела или другие биорецепторы прикрепляются к поверхности устройства, то не составляет труда точно измерить, сколько материала из образца жидкости связывается с этими рецепторами.

Поскольку метод поверхностного плазмона не требует меченых молекул, он может использоваться в биосенсорах для широкого диапазона соединений. Так компания Pharmacia создала лабораторную систему, содержащую «родовой» сенсор с поверхностным плазмонном. На эти сенсоры

исследователи осаждают любые биологические макромолекулы, которые они хотят изучить.

В настоящее время биосенсоры используются главным образом в медицине, но в будущем они смогут найти столь же важное применение и в других областях. В качестве примера можно привести сенсор, разработанный Исао Карубе и Суити Судзуки из Токийского технологического института. Он измеряет биохимическую потребность в кислороде — показатель концентрации органических материалов в загрязненной воде. Сенсор, основанный на дрожжах, проводит анализ за 30 мин, тогда как при использовании обычных методов на это уходит 5 суток

Биосенсоры могут быть использованы для выявления таких токсичных веществ, как полихлорированные бифенилы (ПХБ), хлорированные углеводороды или ароматические соединения. При авариях сенсоры включают автоматическую систему немедленного реагирования и сигнализируют соответствующим службам о том, какие именно загрязняющие вещества появились.

Нежелательные и потенциально опасные вещества могут возникать в окружающей среде не только в результате аварий. Например, в пищевых продуктах они могут накапливаться в результате естественной порчи продукта. Пищевые компании Канады и Японии выпускают в продажу биосенсоры, определяющие содержание в рыбе ксантинов и других веществ, для оценки свежести рыбы. В Японии показатель свежести рыбы, как правило, указывается прямо на упаковке. Разрабатываются сенсоры для оценки качества говядины и других продуктов.

И последняя область, в которой биосенсоры смогут принести ощутимую пользу, — это контроль промышленных процессов. На предприятиях с автоматизированными химическими процессами уже используются детекторы, измеряющие в реальном времени давление, температуру и кислотность. Биосенсоры смогут, помимо этого, определять химический состав материалов в ходе производственного процесса. Такие измерения особенно важны на биотехнологических предприятиях. В настоящее время на них отсутствует строгий текущий контроль условий культивирования микроорганизмов, продуцирующих такие лекарства или активные белки, как интерферон или инсулин. Развитие биосенсоров может вызвать положительную обратную реакцию, поскольку совершенствование технологии производства ведет к более дешевому способу производства более широкого круга сенсорных молекул.

РАСШИРЯЯ ОБЛАСТЬ применения биосенсоров, исследователи стремятся к созданию сенсоров, в которых устранялось бы различие между биомолекулами, которые «распознают» вещества, и веществами или электродами, которые улавливают ответы этих молекул. Адам Хеллер из Техасского университета в Остине ввел, например, в белки электронное «реле». В результате химическое связывание «телеграфирует» о себе непосредственно электроду, а не оценивается косвенным образом с помощью медиаторов или по количественным изменениям рН или потребления кислорода. Такой подход значительно повышает чувствительность биосенсоров. Если исследователям удастся приспособить для своих нужд свойства таких электроактивных молекул, то они смогут создать биосенсоры с еще большей избирательностью.

Биосенсоры всегда будут иметь меньшую чувствительность и избирательность, чем лабораторные тесты. Но если говорить о главном конкуренте биосенсоров — природе, то в

ряде случаев исследователям вскоре удастся создать детекторы, более чувствительные и специфичные, — а также с более быстрой реакцией, чем

организмы, поставляющие молекулярные механизмы для этих детекторов.

Наука и общество

Новая Луна

ЛУНА, такая нам знакомая, все еще может преподнести сюрпризы. Пока более привлекательные далекие планеты мелькали в газетных заголовках, верный спутник Земли вознаграждал ученых, уделявших ему внимание.

На прошедшем недавно собрании Американского геофизического союза около 20 ученых сделали сообщения о результатах последних исследований Луны. Космический аппарат НАСА «Галилей», который прошел 8 декабря 1990 г. над обратной стороной Луны, передал на Землю данные, послужившие основой для нескольких таких сообщений. Получены первые четкие изображения кратера Айткен —

огромной впадины глубиной около 8 км и имеющей по крайней мере 2000 км в поперечнике.

Кратер Айткен, вероятно, образовался в результате падения метеорита. Судя по размерам кратера, этот метеорит «был таких размеров, что вполне мог разорвать Луну», замечает Дж. Хед из Университета Брауна, входящий в группу по изучению изображений с «Галилея».

На изображениях, полученных с космического аппарата «Галилей», обнаруживается, что кратер сложен из пород, несколько более темных, с повышенным содержанием железа и магния по сравнению с окружающей поверхностью. Вероятно, метеорит пробил лунную кору, обнажив вещество мантии с иным химическим составом. Или же он образовал огром-



ОБРАТНАЯ СТОРОНА Луны, сфотографированная с космического аппарата «Галилей». Темная область слева внизу — «шрам», оставленный гигантским метеоритом. Фото: Лаборатория реактивного движения.

ный кратер, значительная часть которого была заполнена лавой и затем частично покрыта материалом от других ударов метеоритов.

Если кратер действительно заполнен лавой, то Луна могла проявлять вулканическую активность раньше, чем считалось до сих пор. Кратер Айткен выглядит гораздо старше лунных «морей» на видимой стороне Луны, которые, как считают, были порождены мощными потоками лавы примерно 3,9 млрд лет назад.

П. Спадис из Института Луны и планет в Хьюстоне представил фотографии, из которых следует, что вулканизм на Луне существовал сравнительно недавно — 900 млн лет назад. В таком случае Луна проявляла вулканическую активность на протяжении 4,5 млрд лет своей истории. Спадис замечает, что эти открытия ставят под сомнение общепринятое представление, что лунный вулканизм проявлялся в виде одного мощного всплеска, своего рода космического извержения, которое завершилось 3 млрд лет назад.

Еще одно интригующее сообщение связано с наблюдениями, из которых следует, что Луна похожа на комету. В 1988 г. исследователи обнаружили, что Луна, подобно Меркурию и спутнику Юпитера Ио, окружена чрезвычайно разреженным облаком из атомов калия и натрия; в облаке, окружающем Луну, есть и другие химические элементы, но эти два легче всего обнаружить с Земли.

Большинство специалистов считают, что лунная атмосфера состоит из испарившихся под воздействием ударов микрометеоритов частиц поверхности, хотя эти частицы могли непосредственно диффундировать из лунных пород. Из-за непрерывной метеоритной бомбардировки ее атмосфера чрезвычайно горячая, около 1500 К.

Давление солнечного излучения «сдувает» лунную атмосферу по мере ее образования. М. Мендилло и его сотрудники из Центра космической физики Бостонского университета наблюдали кому, состоящую из атомов калия, и натриевый хвост, простирающийся по крайней мере на 25 000 км в направлении от Солнца. Этот хвост, который, к сожалению, можно наблюдать лишь с помощью специальных приборов, имеет протяженность более 10 диаметров Луны.

Новые представления о происхождении и эволюции Луны прослеживаются еще в данных, полученных два десятилетия назад при выполнении программы «Аполлон». Прямые исследования лунных пород указывают, что в прошлом у Луны было магнитное поле, сходное с земным. Ученые считают, что для существования та-

кого поля требуется расплавленное, электропроводящее ядро.

Магнитное поле Луны исчезло около 3,6 млрд лет назад, когда ядро остыло, но признаки его существования сохранились. К. Рассел из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе представил анализ магнитных измерений, выполненных во время миссий по программе «Аполлон». Из этих измерений он установил, что лунное ядро имеет радиус около 400 км; это значительно больше предыдущих оценок.

Из теоретических исследований хи-

мической эволюции Луны, выполненных М. Хиршманом из Вашингтонского университета, следует, что лунное ядро может быть богато никелем. Такое высокое содержание никеля ставит под сомнение теории, согласно которым Луна образовалась в результате столкновения с молодой Землей тела размером с Марс. Из современных моделей следует, что при столкновении с таким большим объектом высвободилось бы в основном бедное никелем вещество. «Вопрос о происхождении Луны остается открытым», — говорит Хиршман.

Обеспечивает ли ДНК-дактилоскопия защиту невиновных?

С 1987 г. результаты ДНК-дактилоскопии принимаются судами как доказательство виновности или невиновности. Но сам метод идентификации личности по уникальному строению ДНК по-прежнему вызывает споры. Дело в том, что отсутствуют стандарты, которые обеспечивали бы гарантию правильного проведения анализа. Хотя все большее число судов в 38 штатах признает «отпечатки пальцев» ДНК в качестве улики, ни власти штатов, ни федеральное правительство не контролируют судебно-медицинскую экспертизу.

В качестве шага по выходу из этой неопределенности конгресс рассматривает вопрос о принятии в 1991 г. закона о проверке профессиональной пригодности на основе анализа ДНК. Законопроектом, внесенным членом палаты представителей от штата Нью-Йорк Фрэнком Хортоном, предусматривается выделение 5 млн долл. на приобретение штатами специального оборудования для проведения анализа ДНК. Чтобы получить свою долю этих денег, штатам придется согласиться на то, чтобы в лабораториях, занимающихся этим анализом, соблюдались соответствующие стандарты, а также чтобы там по крайней мере два раза в год проводились тесты на проверку профессиональной пригодности.

Пока же вопросы о том, кто установит эти стандарты и каким образом они должны соблюдаться, остаются без ответа. На слушаниях в конгрессе, проходивших в юридических подкомитетах палаты представителей и сената в июне, Федеральное бюро расследований (ФБР), в котором проводится больше судебно-медицинских экспертиз на базе анализа ДНК и где подготовлено больше исследователей, чем в какой-либо другой организации, попыталось уклониться от ответственности за осуществление контрольных функций. «Мы не хотим быть регулирующим органом», — говорит заместитель директора ФБР Джон Хикс. Другими возможными кандидатами на выполнение этой функции являются Национальный институт стандартов и технологий, Американское общество директоров криминалистических лабораторий и Колледж американских патологоанатомов.

Разработка технических стандартов, таких, как порядок сравнения структуры ДНК, вероятно, окажется легче, чем согласование процедурных стандартов лицензирования, аккредитования, хранения данных и проверки профессиональной пригодности, как считает Робин Нишими, возглавлявший исследования по ДНК-дактилоскопии в Управлении по изучению последствий научно-технического прогресса при конгрессе США. В связи с тем что в настоящее время используются различные методы анализа, штаты не могут обмениваться соответствующими данными по компьютерным сетям. «Для создания полноценной базы данных по ДНК в масштабах всей страны крайне важной представляется стандартизация этих данных», — отмечает Нишими.

Возможной моделью при выработке требований к проверке профессиональной пригодности на основе анализа ДНК являются правила, составленные для клинических лабораторий, когда конгресс вносил изменения в Закон об улучшении работы клинических лабораторий от 1988 г. Эти лаборатории должны использовать «слепую» внешнюю систему анализа, при которой ни лаборатория, ни пациент не знают, какой из полученных образцов подвергается анализу. Такая система практикуется в Великобритании, где впервые была разработана судебно-медицинская экспертиза ДНК. «Методика слепого» анализа — это основа для проведения всех намеченных изменений в работе клинических лабораторий, — заявляет Бэрри Шек, профессор права Нью-Йоркского университета. — Почему к анализам, проведение которых может быть использовано для того, чтобы лишить человека свободы, должно быть менее строгое отношение?»

В отчете, который, как ожидается, будет обнародован Национальной академией наук осенью этого года, будет содержаться информация и о других вопросах, возникших в связи с использованием ДНК-дактилоскопии. Наряду с контролем качества и стандартами в нем будет выражена растущая озабоченность по поводу того, что происходит с «отпечатками пальцев» ДНК после их использования в качестве информации, имеющей отношение к уголовному расследованию. В отличие от обычных отпечатков пальцев они содержат информацию о наследственных болезнях и предрасположенности к определенным заболеваниям, и эти данные могут быть неправильно использованы.

Дебора Эрикссон

Пчелиные волки

Активные охотники, самки этих насекомых ежегодно вылавливают множество пчел на пропитание своему потомству. Самцы крайне агрессивны и дерутся между собой за обладание самками

ГОВАРД Э. ЭВАНЗ, КЕВИН М. О'НЕЙЛЛ

СТРЕМИТЕЛЬНО рассекающая воздух самка пчелиного волка вдруг резко меняет направление полета. Повернув, пикирует на соцветие и нацеливается на одну из сосущих нектар пчел. Как только цель поймана в поле зрения, «пчелиная волчица» бросается вниз, расставив ноги, и меньше чем за три секунды успевает схватить жертву и впрыснуть ей мощный парализующий яд. Затем, прижав пчелу снизу к своему брюшку, улетает к себе в подземное гнездо, где только что пойманная добыча станет кормом для «пчелиных волчат».

Такие жуткие сцены многократно повторяются в течение летних месяцев, когда пчелиные волки переживают период активности. В самом деле, в тех местах, где пчелиные волки живут скученно, на долю наблюдателя выпадают эпизоды, полные напряженнейшего драматизма, где действующие лица беспрерывно удаляются и появляются вновь, вступая в разнообразные отношения друг с другом, с добычей, паразитами и хищниками. Наблюдая за пчелиными волками на протяжении многих лет, мы нашли у них много такого, что позволяет рекомендовать их в качестве объекта биологических исследований.

Эти прожорливые насекомые имеют с волками еще меньше общего, нежели с пчелами, и относятся к так называемым дорожным осам (семейство Sphecidae). В общеупотребительном названии точно отражено их пристрастие к пчелам. Самки — заядлые охотники, тогда как самцы не охотятся вовсе, питаются же другими насекомыми только личинки этих ос. Взрослые особи потребляют исключительно нектар, за что данный род и получил название «филант» (*Philanthus*), что в переводе с греческого означает «любитель цветов» (каков контраст с устрашающим общепринятым названием!).

Широкому употреблению термина «пчелиные волки» мы обязаны лауреату Нобелевской премии этологу Нико Тинбергену, который еще в 30-е годы начал первые строго научные исследования их поведения; с тех пор

мы узнали очень много о жизни этих поразительных насекомых. Они относятся к числу самых распространенных ос, и хотя представители некоторых видов довольно мелки — всего семь-восемь миллиметров в длину, — отдельные особи достигают 22 мм. Кроме того, многие из них ярко окрашены, разрисованы желтыми поясками на брюшке, так что их легко заметить и нетрудно наблюдать. Из 136 видов филантов, известных на земном шаре, 34 встречаются в Северной Америке.

Нам очень повезло, что несколько видов пчелиных волков в изобилии живут в таких великолепных заповедниках дикой природы, как национальные парки Гранд-Тетон и Йеллоустон, а также на Больших песчаных дюнах юга Колорадо, где мы и провели наши основные наблюдения. Но этих ос часто можно встретить и в гораздо более людных местностях, даже среди городских кварталов, на участках с голой рыхлой почвой. Любкой клочок земли, где можно без труда вырыть норку, — на лесной поляне, размытом склоне оврага, немощенной дорожке, в яме, откуда брали песок, — часто бывает нашпигован гнездами пчелиных волков.

ВТЕЧЕНИЕ последних пятнадцати лет мы каждый полевой сезон посвящали изучению филантов различных видов и исследовали более 20 из них, наблюдая всевозможные типы их поведения в природе. Затеяв эту работу, мы хотели выявить количественные различия между видами. Как, например, отличаются предпочитаемая ими добыча, гнездостроительное поведение, брачная стратегия и иные виды деятельности?

Поскольку строят гнезда, откладывают яйца и заготавливают добычу самки, большую часть времени в поле мы потратили на наблюдения за ними. Позднее, однако, мы сосредоточили внимание на самцах, у которых прежде не отмечали столь разнообразного и сложного поведения, как у самок. В том и другом случае истолковывать поведение этих насекомых с

точки зрения эволюционного приспособления было для нас одновременно и огромным удовольствием, и долгим испытанием нашего интеллекта.

Прежде чем описывать уникальные особенности поведения каждого из многочисленных видов, с которыми мы познакомимся, нам нужно остановиться на важнейших чертах жизненного цикла, общих для всех пчелиных волков. Как и все прочие представители семейства Sphecidae, пчелиные волки роют в земле норки и откладывают яйца в подземные ячейки, обеспеченные запасом корма — добытыми самкой насекомыми. Потомство может появиться на свет в любое время начиная с конца весны до конца лета (это зависит от вида) и живет, как правило, не больше трех-четырех недель. Самцы вылетают несколькими днями раньше самок, отыскивают небольшой участок свободной земли, или территорию, и начинают охранять его от вторжения других особей. Самцы привлекают на эти участки появляющихся вскоре самок и затем спариваются с ними. Сразу после спаривания самки приступают к сооружению гнезда или норки; все это составляет необходимое условие начала откладки яиц.

У всех видов филантов норка состоит из единственного входного отверстия, главного хода — галереи — и ряда отдельных камер, число которых у разных видов колеблется от 2—3 до 17—18. Сначала самка выкапывает только основной ход, а уж потом, по мере накопления необходимого корма, строит одну за одной камеры, заполняя их добычей.

Когда сооружение главного коридора завершено, самка отправляется на свою первую охоту. Вернувшись к гнезду, она кладет парализованную пчелу на пол галереи и улетает за новой жертвой. После нескольких подобных вылазок (каждая занимает от 5 до 45 минут), когда корма наберется достаточно для заполнения одной ячейки (в зависимости от размера добычи для этого требуется от 4 до 20 насекомых), оса выкапывает первую камеру, затаскивает туда парализо-

ванных насекомых, а затем откладывает на ближайшую к выходу пчелу свое яйцо. Самка немедленно закупоривает этот выход грязью, чтобы никто не мог проникнуть в ячейку, после чего удаляется, чтобы заняться следующей камерой.

Самка филанта не могла бы создавать в ячейке полный запас корма (вместо того чтобы постепенно подтаскивать корм растущему потомству), если бы не удивительные свойства ее яда. Этот яд вызывает у насекомых глубокий непрекращающийся паралич, благодаря чему живая, но обездвиженная добыча служит источником свежего корма для личинки в течение всего периода ее развития. Мать никогда больше не увидит свое потомство. Когда личинка — примерно через пару дней — вылупляется из яйца, она сразу начинает пожирать находящуюся в камере добычу. Быстро питаясь, она дорастает до окончательных размеров за семь-десять суток, после чего плетет кокон и зимует в нем под землей в своей ячейке. Следующей весной или летом оттуда вылетает взрослая оса, и весь цикл повторяется.

САМКИ стремятся селиться колониями и нередко образуют густозаселенные гнездовые участки. Это происходит потому, что пригодную для рытья почву найти довольно трудно. Поэтому часто можно видеть, как на одном участке гнездятся два или больше видов филантов. Самое большое разнообразие пчелиных волков нам довелось встретить в пустыне Сан-Рафаэль в штате Юта. Здесь мы за три дня собрали на 15-километровом отрезке дороги десять видов этих ос. Столь сильное перекрывание гнездовых территорий наводит на мысль о вероятной жесткой конкуренции за ресурсы, однако, по нашим наблюдениям, виды, занимавшие общий участок, как правило, имели разный период активности, предпочитали разную добычу и были разного размера (с последним обстоятельством связаны и соответствующие различия в величине добычи).

Так, из четырех видов, совместно гнездящихся на найденном нами участке в центре штата Колорадо, два были крайне специализированы в отношении выбора жертв, в то время как остальные два отличались широким спектром используемой добычи. *Philanthus inversus*, например, охотился только на самцов пчел-галиктов (известных тем, что их привлекают потовые выделения человека и животных), в то время как *P. bicinctus* хватал только шмелей (за что его и прозвали шмелиным волком). В отличие от этих видов *P. barbiger* и



СПАРИВАЮЩИЕСЯ ПЧЕЛИНЫЕ ВОЛКИ, как показанная здесь пара *Philanthus bicinctus*, сидят на растениях, произрастающих на занятом самцом участке или поблизости от него. Самец, гениталии которого сцеплены с гениталиями самки, как правило, остается в спаренном состоянии головой вниз на протяжении примерно пяти минут, после чего партнеры расцепляются.



P. basilaris нападали практически на любых пчел и ос, но, поскольку размеры тела у двух последних филантов весьма различны, нам лишь в редких случаях доводилось отмечать среди их добычи одинаковых насекомых. Таким образом, несмотря на то, что на одном участке совместно проживали четыре вида, сколько-нибудь существенной конкуренции между ними не было.

Вторая особенность гнездовых колоний пчелиных волков — их относительная долговечность, связанная, как нам кажется, с сильной общей разбросанностью таких участков. Хотя одиночная особь и живет всего каких-нибудь три-четыре недели, одни и те же места гнездовой эксплуатируют многие и многие поколения ос. Мы, например, точно знаем, что одна колония в Йеллоустонском парке заселена филантами не менее тридцати лет назад, еще один участок в Гранд-Тетоне — свыше 23 лет назад. При этом повторное использование ранее построенных гнезд следующими поколениями отмечено только у одного вида — *P. gibbosus*.

ОДНАКО за приверженность постоянным гнездовым участкам приходится платить. Пока одни поколения сменяют другие, в колонию успевают просочиться хищники и паразиты. В самом деле, тех из нас, кто изучал пчелиных волков в природе, неизменно поражали следующие два обстоятельства: повсеместное присутствие паразитов и многообразие стратегий, используемых филантами для избавления от них.

Все наблюдатели в один голос отмечают присутствие в поселениях филантов разного рода мух и паразитических перепончатокрылых. Уровень зараженности высок и в отдельных местах достигает 40%. Как нам кажется, именно это обстоятельство и обуславливает главным образом то разнообразие форм поведения, кото-

НАЧАЛО ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА приходится у пчелиных волков на конец весны — конец лета, в зависимости от вида. Первыми вылетают самцы (I) и спустя несколько дней спариваются с появившимися самками (II). После спаривания самка строит подземное гнездо (III), куда помещает свою добычу, откладывает яйца и, покидая норку, запечатывает выход (IV). Через день-два после откладки яйца из него выходит личинка и начинает поглощать свой корм (V). Примерно неделю спустя, достигнув окончательных размеров (VI), она плетет кокон (VII), внутри которого ей предстоит перезимовать и превратиться во взрослое насекомое.

рое мы видим в роде *Philantus*. Наиболее многочисленные природные враги пчелиных волков принадлежат, разумеется, к числу клептопаразитов (т. е. «воров-нахлебников»), названных так за их манеру откладывать свои свежевывлупившиеся личинки на добычу, парализованную филантом, и, таким образом, похищать ее (лишь позднее они могут случайно съесть и само яйцо хозяйна). Столь эффективно атаковать добычу осы им позволяет отчасти весьма необычный характер развития. Клептопаразиты рожают личинок, вылупляющихся из яйца внутри половых путей матери и откладываемых на заготовленный филантом корм, когда они уже готовы начать питаться.

Самый обычный клептопаразит филантов Северной Америки — это, наверное, муха *Senotainia*. Эти мухи крутятся вокруг самок пчелиных волков, когда те возвращаются с добычей к гнезду. Схема действий мухи проста: когда оса задерживается у входа в норку, муха кидается к ней и за какие-нибудь тысячные доли секунды откладывает крошечную личинку на парализованную добычу пчелиного волка. Другие клептопаразитические мухи отыскивают отверстия в почве; они ищут входы в осиные норки, а затем либо сразу заходят в галерею (как, например, *Metopia*), либо прокладывают себе путь, проделывая вход в норку (*Phrosinella*), и откладывают личинок на добычу уже внутри гнезда. В гнездах пчелиных волков паразитируют и представители семейства ос-немок (*Mutillidae*) и осблестянок (*Chrysididae*). Они также отыскивают норки на земле.

Мы полагаем, что вследствие подобного давления отбора у пчелиных волков возник целый ряд интересных стратегий обмана своих врагов. Некоторые виды филантов, например, тщательно разравнивают кучку выкопанной из норки земли у входа и тем самым делают это место менее заметным для посторонних. Другие, отлучаясь, закупоривают вход в норку, препятствуя проникновению туда мух *Metopia*. К сожалению, этот способ поведения может обернуться неприятностью, поскольку самка вынуждена по возвращении к гнезду задержаться для распечатывания входа, а в это время на ее добычу может отложить свою личинку муха *Senotainia*.

У нескольких видов выработалась повадка, позволяющая отделаться и от *Senotainia*, и от *Metopia*. Они выкапывают неподалеку от настоящего входа в норку добавочный, или ложный, вход, чем сбивают с толку паразитов, вынуждая их откладывать яй-

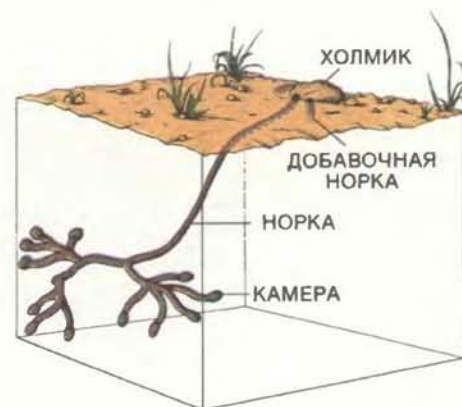
ца или личинок не там где надо. Правда, мы не проверяли гипотезу о том, что эти ложные норки снижают уровень зараженности гнезд паразитами, но твердо установили, что мух *Metopia* привлекали отверстия, сделанные нами в почве карандашом или гвоздем. Из работ по другим группам роющих ос, выполненных Кацудзи Цунеки из Университета Фукуи (Япония), мы знаем, что уровень зараженности меняется в зависимости от наличия или отсутствия дополнительных норок. В одной местности в Японии, где встречаются два вида ос, паразиты заражали лишь 9% гнезд вида, регулярно устраивавшего ложные норки, и 44% гнезд второго вида, не делавшего таких норок.

Еще одна стратегия, по-видимому позволяющая отделаться от нападения паразитов, состоит в «запутывающем» поведении при полете. Большинство самок филантов при приближении к гнезду летят по сложной траектории, благодаря чему преследователи, видимо, отстают. Маневры в полете различаются у разных видов; к их числу относятся резкие остановки в воздухе, прерванные посадки, ступенчатое снижение и полет по неправильной траектории. Дейвид Маккоркодейл, работавший в Университете пров. Альберта (Канада), исследовал

полет шести видов роющих ос (в том числе двух филантов) при приближении к гнезду и обнаружил, что виды с наиболее развитыми маневрами успешнее других обманывали нападавших врагов.

Хотя скопления гнезд способствуют укоренению популяций паразитов, они одновременно создают для пчелиных волков определенные защитные преимущества, поскольку здесь снижается вероятность заражения паразитом для отдельной особи. Это открыл Уильям Вцисло из Канзасского университета, изучавший уровень паразитизма в скоплении роющих ос в штате Мичиган. Он пришел к выводу, что каждая особь выигрывает в безопасности, живя в колонии, в соответствии с гипотезой «стада индивидуалистов» Уильяма Гамильтона из Оксфордского университета.

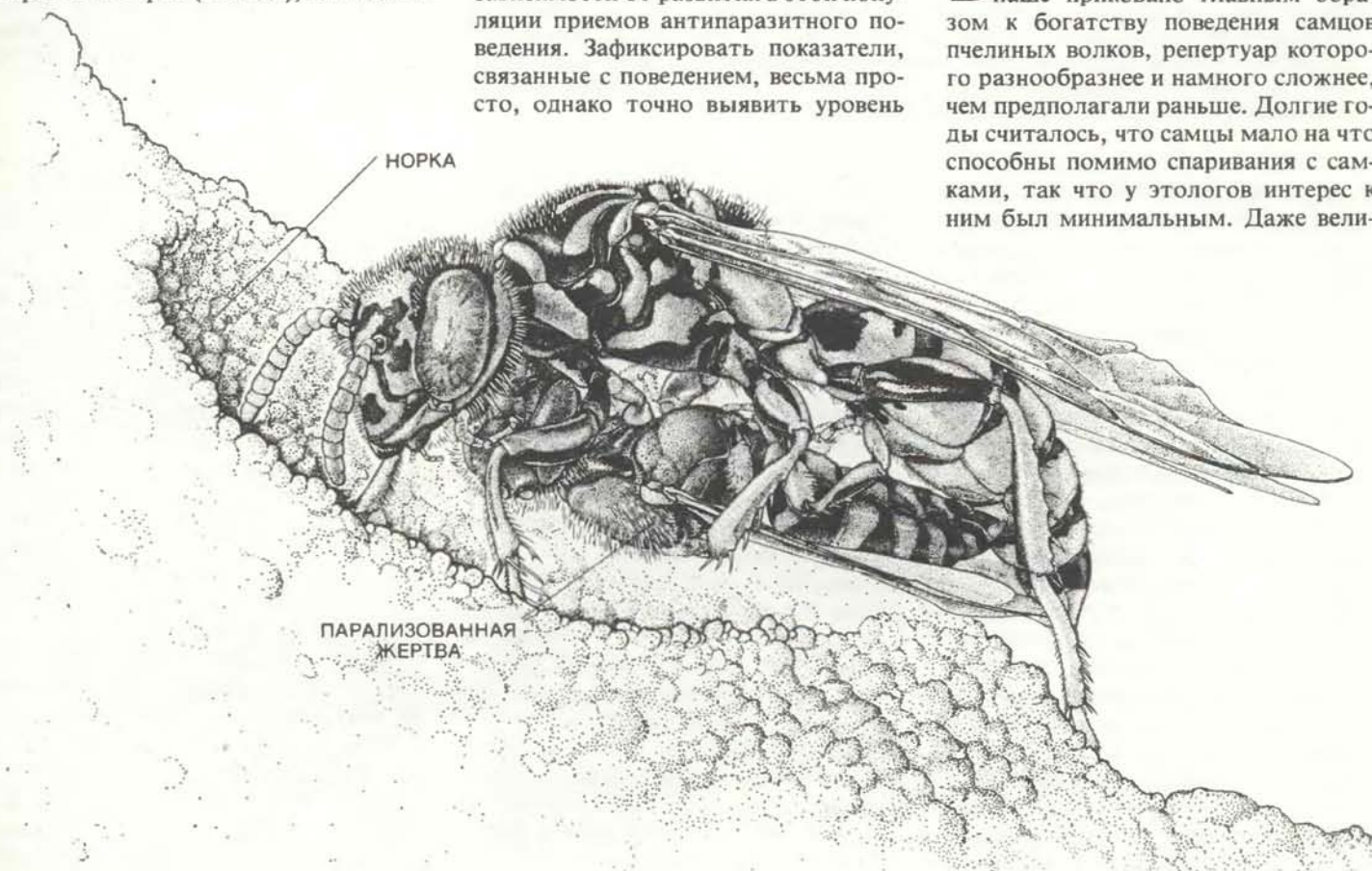
По общему мнению, большинство данных, свидетельствующих о зависимости между определенными типами гнездового поведения и давлением отбора со стороны паразитов, являются лишь косвенными доказательствами. Чтобы убедительно показать, что подобная связь существует, нам придется собрать еще много информации по процентному соотношению зараженных камер в популяции ос в зависимости от развития в этой популяции приемов антипаразитного поведения. Зафиксировать показатели, связанные с поведением, весьма просто, однако точно выявить уровень



ЗЕМЛЯНЫЕ НОРКИ у разных видов могут отличаться, но в целом имеют единственное входное отверстие, главную галерею и набор ячеек, число и расположение которых у разных видов различно. У входа в гнездо может располагаться холмик земли и одна или несколько добавочных норк (служащих для дезориентации паразитов).

зараженности гнезд паразитами можно, лишь раскапывая каждую норку и дожидаясь выхода насекомых из ее камер для установления количества выживших потомков.

В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ внимание наше приковано главным образом к богатству поведения самцов пчелиных волков, репертуар которого разнообразнее и намного сложнее, чем предполагали раньше. Долгие годы считалось, что самцы мало на что способны помимо спаривания с самками, так что у этологов интерес к ним был минимальным. Даже вели-



САМКА *Philanthus inversus* несет парализованную пчелу *Agapostemon texanus*. Пчелиный волк (на рисунке собирается лезть в свое подземное гнездо) держит свою добычу,

длина которой составляет 9 мм, прижимая ее к своему телу для защиты от хищников. Размеры самой осы — 12 мм — лишь немногим больше размеров ее жертвы.



ОСОБЕННОСТИ ПОЛЕТА САМКИ позволяют ей сбить с толку хищников и паразитов, в частности вездесущих мух *Senotainia*, упорно преследующих отягченных добычей самок. Заметив (1) и парализовав (2) пчелу, самка осы направляется к гнезду (3), постоянно маневрируя, чтобы от-

влечь врагов (4). Тактика зависит от вида и может включать такие приемы, как кружение (5), остановку (6) и внезапное ускорение (7). В случае успеха самка возвращается к своей норке (8), отделавшись от преследователей.

кий гарвардский энтомолог Уильям Мортон Уилер — пионер в области науки о поведении насекомых — написал в 1919 г., что самец осы представляет собой «этологическое ничтожество». В наши дни тем не менее самцы, столько времени бывшие в полном пренебрежении у ученых, возбуждают самый горячий интерес. Это — признание поразительно широкого спектра активности этих насекомых.

В отличие от самок, отдающих почти все силы потомству и вся жизнь которых, по сути дела, уходит на поиски добычи для устройства запасов в гнезде, самцы кроме генов мало что дают своим детям, а большую часть жизни тратят на поиски партнерш. В свободное от этого время они собирают для себя нектар; по ночам и в ненастную погоду они отсыплются в неглубоких норках. Хотя при первом появлении из норки им редко приходится контактировать с самками или другими самцами (в это время они заняты в основном питанием), ситуация резко меняется в середине или к концу утра, когда они начинают искать себе особые местечки на земле или на низ-

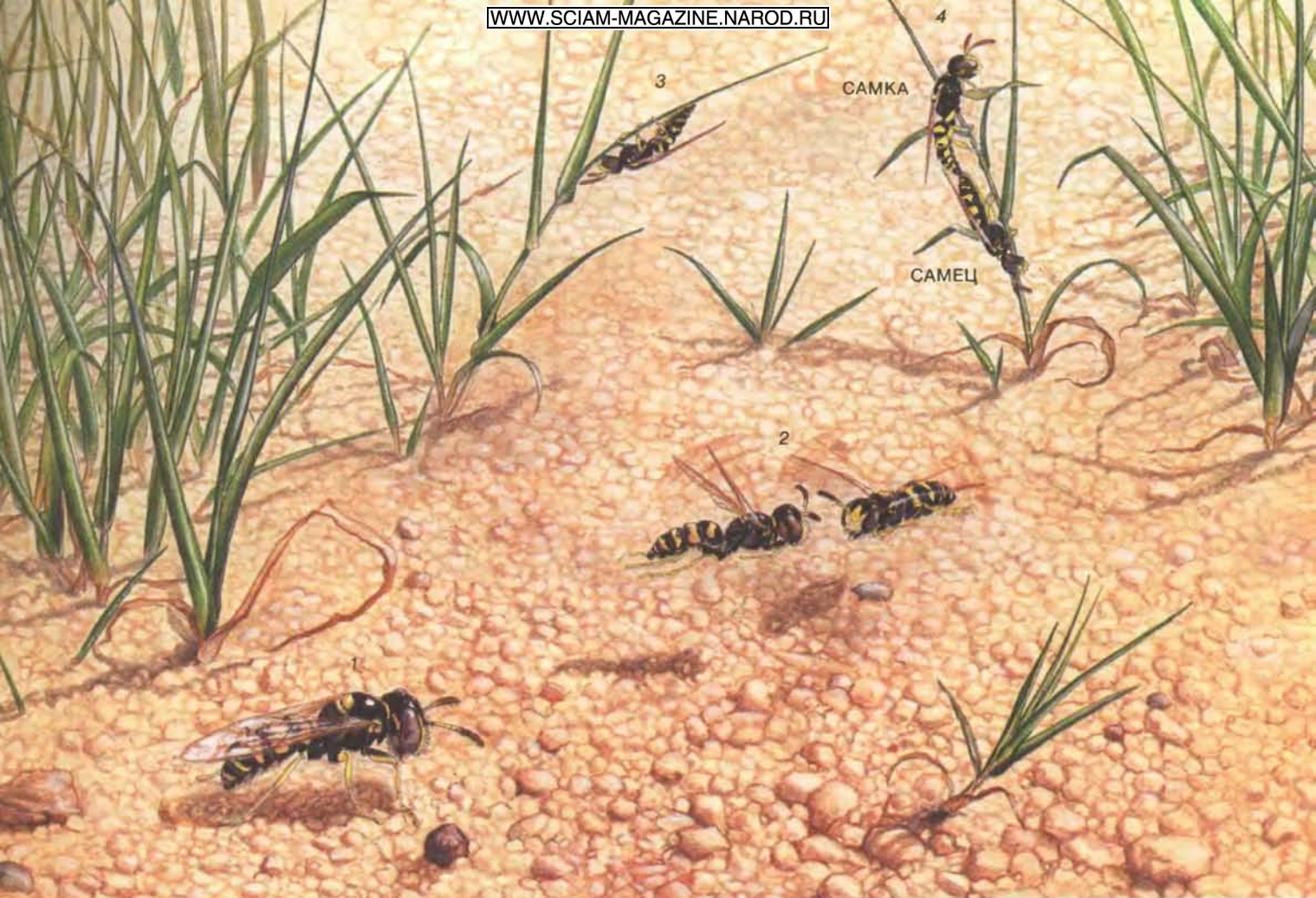
кой траве, откуда можно заманивать самок. Найдя подходящий «наест» и тем самым «застолбив» участок, самец примерно от двух до шести часов караулит самку. В это время он редко отлучается от своего поста дальше чем на несколько метров.

Само спаривание продолжается совсем недолго. Процесс начинается с того момента, когда самка появляется на территории, занятой самцом; убедившись, что самка прилетела, самец быстро снимается со своего «наеста» и делает попытку усесться на спину своей потенциальной супруги. Если она готова к спариванию, их копулятивные структуры соединяются, и партнеры разворачиваются головами в противоположные стороны. Половой контакт продолжается от 5 до 10 минут, причем в это время пара в отдельных случаях может отлетать на короткое расстояние тандемом, прежде чем сесть на грунт и расцепиться. После спаривания самец возвращается на свой пост, где продолжает следить за другими самками.

На протяжении всего этого периода самцы проявляют крайне выражен-

ные территориальные инстинкты и негативно реагируют на всякие вторжения, особенно со стороны самцов того же вида. Тех, кто приближается к наблюдательному пункту самца ближе чем на метр, самец прогоняет. Бывает, однако, что вторгшийся самец пытается завладеть занятым участком. Тогда завязывается жаркая схватка, в ходе которой самцы стараются свалить друг друга, стоя на земле, или же громко стучаются головами в воздухе. Между самцами возникает и «бесконтактный» поединок, когда противники описывают в воздухе друг вокруг друга петли и круги с головокружительной скоростью.

Чтобы определить те факторы, которые обуславливают исход схватки за территорию, мы ловили самцов в разных местах в горах плато Колорадо, измеряли длину их тела и помечали каждого особым значком на груди. Наблюдая затем за их действиями, мы увидели, что исход поединка был в огромной степени связан с разницей в размерах между занявшим участок самцом и самцом, оспаривающим его права. В 97—100% случаев победи-



САМЦЫ УПОРНО ОБОРОНЯЮТ СВОЮ ТЕРРИТОРИЮ. Большую часть времени они проводят на своем наблюдательном пункте (1), но незамедлительно реагируют на всякое вторжение, особенно со стороны самок и самцов своего вида. Схватки бывают очень решительными: самцы пи-

хают друг друга и громко сталкиваются головами в полете (2). Самцы метят растения запахом (3), который, как полагают, привлекает самок на данный участок. Спаривание нередко происходит на ближайшей растительности (4).

тель (а мы исследовали представителей четырех видов: *P. inversus*, *P. bicinctus*, *P. barbiger* и *P. basilaris*) был крупнее или такой же величины, как его противник. Самые крупные самцы обычно прогоняют всех вторгшихся соперников и способны удерживать свою территорию на протяжении двух или трех недель, что составляет значительную часть их жизни.

СПОСОБНОСТЬ установить и поддерживать контроль над участком, разумеется, способствует репродуктивному успеху самца. Несмотря на это, в каждый данный момент времени множество самцов, называемых «налетчиками», летают от одного участка к другому, стараясь изгнать их хозяев. Поскольку наши предыдущие результаты свидетельствуют о том, что успех в сражении в общем определяется размерами, мы предположили, что у налетчиков в среднем размеры тела должны быть меньше, чем у особей, завладевших территорией. Чтобы проверить эту гипотезу, мы собирали самцов с их «наместов» и измеряли их длину. Затем мы проде-

лали то же с самцами-налетчиками, сменившими хозяев (нередко спустя лишь несколько минут). В 94% случаев последние оказались мельче первоначальных хозяев; это надежно доказывает, что способность захватывать территорию в самом деле определяется размерами.

Неудивительно, что сидящие на наестах самцы чрезвычайно бдительны. Они бросаются с расстояния метра и более на самцов-налетчиков, бабочек, птиц и даже на подбрасываемые нами камешки. Эта активность, однако, не проходит даром: самцы, стоящие на страже своих владений, нередко привлекают внимание хищников. Так, хищные мухи-ктыри, встречающиеся в тех же биотопах, часто нападают на самцов филантов. Кроме того, нам приходилось видеть, как самцы пчелиных волков становились жертвами самок своего же вида, хотя причины подобного поведения нам пока неясны.

У одного вида пчелиных волков поведение самцов не вписывается в общую, приведенную нами картину. Летом 1977 г. мы начали четырехгодич-

ную работу с популяцией *P. zebra* в Джексон-Хоуле (шт. Вайоминг). Мы установили, что более мелкие самцы устраивают свои наблюдательные пункты по периферии густонаселенной колонии ос. Зато крупные самцы вместо охраны участков используют иную тактику: они предпринимают длинные стремительные патрульные облеты на высоте трех-пяти метров прямо над местами гнездования. Непонятно, почему такой тип поведения встречается среди множества изученных видов лишь у этого.

Для большинства видов важнейшим фактором успеха в размножении является удержание гнездового участка. Но мы еще не совсем понимали, отчего самцы столь яростно защищают свои клочки земли. Какими свойствами должен обладать участок, чтобы его стоило оборонять или, наоборот, чтобы стоило его отвоевывать у хозяина? У таких видов, как *P. psuche* и *P. bicinctus*, самцы защищают те участки в районе гнездования, где рецептивные самки должны быть наиболее многочисленны, однако эта закономерность не рас-



ГОЛОВА САМЦА *Philanthus gibbosus* на микрофотографии (слева), увеличенной примерно в 30 раз. Надо ртом, между парой сложных глаз, расположены клипеальные щетки,



используемые для нанесения полового феромона на растения. При увеличении в 130 раз (справа) видно, что эти щетки представляют собой пучки из отдельных волосков.

пространяется на всех филантов. У других видов самцы, к примеру, охраняют участки, либо лежащие в стороне от скопления гнезд, либо расположенные среди далеко разбросанных друг от друга отдельных норок. Более того, на участках, занятых самцами, нет какой-то особой концентрации нужных самке ресурсов (в частности, кормовых), и они не расположены на излюбленных путях перемещения самок.

Должно быть, ценность защищаемого участка вытекает главным образом из особого, сразу бросающегося в глаза типа активности самца. Занявший насест самец демонстрирует необычное, в высшей степени ритуализованное поведение: как только подходящий наблюдательный пункт выбран, самец обязательно совершает периодические налеты на стебли соседних растений. Сев на стебель, он проползает по нему небольшое расстояние, затем возвращается по своим следам назад, прижимая голову и брюшко к поверхности стебля. Периодичность подобных операций у самцов разных видов варьирует от 20 секунд у самых мелких видов, например, *P. barbiger*, до 5 минут, как у крупных *P. basilaris*. Подобная деятельность напоминает нанесение пахучих меток у других насекомых. Вот почему мы задались вопросом, наносят ли самцы филантов на растения какие-либо химические вещества.

С ПОМОЩЬЮ нескольких химиков (Джастина Шмидта, Генри Фейлза, Криса Мак-Дениела и Ральфа Говарда) мы установили, что самцы действительно наносят химическую метку на стебли растений. Наши выводы основывались на нескольких

ключевых результатах. Начать с того, что нам удалось обнаружить на поверхности растений, посещавшихся самцами, летучие соединения из секрета увеличенных мандибулярных желез самцов. Кроме того, мы не нашли никаких следов этих продуктов на тех растениях, куда самцы не прилетали. Далее, мы догадались, что желобчатые волоски, названные волосными щетками и расположенные у основания мандибул самцов, могут служить средством нанесения пахучей метки. Мы также предположили, что многочисленные волоски, рассеянные на брюшке самца, могут способствовать размазыванию метки по стеблю, когда самец прижимает к нему свое тело.

Теория о ведущей роли химических факторов в поведении самцов подкрепляется и рядом косвенных доказательств. Увеличенные мандибулярные железы и волосные щетки на голове и брюшке филантов не только отсутствуют у самок этих ос, но их нет также и у самцов одного из видов (а именно *P. albopilosus*), которые, как известно, не протягивают свое брюшко по стеблям растений.

Кроме того, молекулярный состав выделений мандибулярных желез свидетельствует о том, что они могут играть роль половых феромонов — веществ, привлекающих особей противоположного пола и служащих у многих животных ключевыми факторами процесса спаривания. В свете этого мы исследовали экстракты мандибулярных желез двух видов — *P. basilaris* и *P. bicinctus*; анализ выявил видоспецифическую смесь кетонов, жирных кислот, этиловых эфиров и альдегидов с молекулярными массами, типичными для компонен-

тов половых феромонов насекомых.

Хотя нам еще предстоит экспериментально подтвердить, что самки реагируют на запах самца, мы наблюдали за полетом самок при их приближении к сидящим на «насестах» самцам непосредственно перед спариванием. Во всех случаях они летели точно против ветра, часто по зигзагообразной траектории. Подобный тип полета характерен как раз для насекомых, ориентирующихся по переносимым ветром запахам из точечного источника. Однако чтобы окончательно убедиться в том, что самки реагируют на экстракт мандибулярных желез самцов, понадобятся опыты, в которых самкам будут предъявлять различные запахи и следить за их реакцией.

Все же мы полагаем, что феромоны дают важный ключ к пониманию эволюции территориального поведения пчелиных волков. Наша гипотеза состоит в том, что самцам выгодно защищать участки, помеченные их феромонами, поскольку таким путем они превращают эту территорию из безликого клочка земли в привлекательный для самок участок. И наоборот, самцу, узурпировавшему помеченную запахом территорию, достаются во владение уже пахнущие аттрактантом растения, и ему не придется тратить энергию на выработку собственного феромона. Этим может объясняться тот факт, что многие самцы стремятся отобрать чужую территорию в начале дня, несмотря на обилие никем не занятых участков поблизости.

Для тех из нас, кто проводил теплостепное послеполюденное летнее время, наблюдая, как прилетают и улетают пчелиные волки, эти осы — очаро-

Наука и общество

Неожиданная удача

вательные и симпатичные создания. Для многих других они, увы, вредители. Ведь пчелиные волки не только ловят пчел, опыляющих дикорастущие и культурные растения, но и убивают многих ос, охотящихся на таких сельскохозяйственных вредителей, как гусеницы и саранчовые-кобылки. Кроме того, пчелиные волки создают трудности пчеловодам. Р. Т. Симонтомас, недавно работавший в Амстердамском университете, подсчитал, что 3000 самок пчелиных волков (а популяция такого размера — дело вполне обычное) могут за день выловить порядка 30 000 медоносных пчел. Он сообщает, что численность филантов в оазисе Дахла в Египте столь высока, что там практически невозможно держать пчел.

Из-за такой прожорливости пчелиных волков нам не раз приходилось слышать вопрос, нельзя ли использовать их для борьбы с популяциями африканизированных пчел, отличающихся крайней агрессивностью и угрожающих населению юга США. Во-первых, гнездящимся в почве осам нужна голая и рыхлая почва, но при этом достаточно хорошо уплотняющаяся, чтобы в ней можно было рыть норки. Создание огромных полос такого грунта для целей борьбы стало бы поистине грандиозной затеей. Даже если бы в подобные искусственно созданные местообитания удалось поселить какие-то крупные виды пчелиных волков, превращение этих популяций в стабильные заняло бы не один год. Во-вторых, мы не можем заранее выяснить, удастся ли осам в таких условиях одолеть агрессивных африканизированных пчел.

Независимо от хозяйственного значения пчелиных волков мы можем сказать о них много интересного как о примере адаптивного поведения. Каждый вид выработал особенности, позволяющие ему процветать невзирая на ограниченность участков, пригодных для сооружения гнезд, и необходимость не только делить их с другими насекомыми, но и преодолевать натиск многочисленных паразитов.

Разбираясь в хитросплетениях жизни пчелиных волков, мы поняли, что в их поведении остается много неизученного. Например, нам еще предстоит доказать, что самцы продуцируют видеоспецифичные феромоны; помимо этого мы должны еще многое выяснить относительно взаимодействия самок с самцами и самок с их паразитами. Кроме того, из 34 североамериканских видов в той или иной степени изучены пока всего 20. Таким образом, ясно, что тем, кто посвятил свою жизнь изучению насекомых, пчелиные волки будут еще много лет загадывать непростые загадки.

КОГДА В 1983 г. химики консорциума Hoechst Celanese Advanced Technology Group в Корпус-Кристи (шт. Техас) приступили к работе по созданию недорогого исходного материала для жидкокристаллических полимеров, они не думали о болеутоляющих средствах. Однако, как оказалось, в результате своих поисков они получили дешевый синтетический материал, который мог бы быть использован в качестве предшественника для получения ацетаминофена и ибупрофена, а также многих других ценных веществ — от полимеров, пригодных для изготовления компьютерных микросхем, до ингредиентов ароматизирующих веществ, инсектицидов и лекарственных препаратов.

Благодаря этому неожиданному и удачному открытию компания Somerville (шт. Нью-Джерси) становится сейчас одним из ведущих в мире производителей обезболивающих средств. Консорциум Hoechst использовал эту новую технологию, чтобы в 1990 г. внедриться на рынок ацетаминофена, а с 1992 г. он начнет выпускать 3500 т ибупрофена ежегодно — этого количества будет достаточно для производства 15 млрд таблеток. Для производства обоих лекарств необходим процесс, в котором фтористоводородная (плавиковая) кислота используется в качестве катализатора для получения 4-гидроксиацетаминофена (сокращенно 4-НАР).

Способность фтористоводородной кислоты катализировать превращение фенилацетата в 4-НАР исследовалась еще в начале 50-х годов, но в то время промышленное использование этой реакции было признано экономически нецелесообразным. «Они получили нечто большее, чем думали», — говорит Ч. Хилтон, возглавлявший группу разработчиков процесса, идея которого принадлежала К. Дейвенпорту. В настоящее время Хилтон руководит проектно-исследовательскими работами в техническом центре Coventry Technical Center в Род-Айленде, принадлежащем консорциуму Hoechst.

Использование фтористоводородной кислоты для получения 4-НАР оказалось намного эффективнее, чем обычный способ, при котором в качестве катализатора применяют хлорид алюминия. Фтористоводородная кислота легко вводится обратно, в то время как хлорид алюминия после за-

вершения реакции приходится выделять из окончательного продукта как отход производства. Кроме того, новый процесс обеспечивает превращение 96% исходных материалов в конечный продукт, а при обычно используемой технологии этот показатель составляет 20—50%.

Сначала Хилтон и Дейвенпорт не осознали в полной мере возможностей нового открытия. Это сделал их руководитель Р. Вурхов. Он перевел Хилтона на три месяца в группу развития предпринимательства в Далласе и велел ему вернуться с тремя или четырьмя готовыми продуктами, полученными с использованием 4-НАР или на основе катализа с участием фтористоводородной кислоты. После двух месяцев размышлений над тем, как проникнуть на рынок, Хилтон не пришел ни к какому выводу.

«Спустя два месяца и один день, — вспоминает Хилтон, — картина стала вполне ясной. Я подумал об ацетаминофене, который имеет структурное сходство с 4-НАР». В то время в США ежегодно потреблялось 25 млрд таблеток этого лекарства в год, поэтому он решил, что столь емкий рынок должен заинтересовать компанию. «Какие химические процессы могут обеспечить превращение 4-НАР в ацетаминофен?» — спрашивал он себя, когда направлялся на совещание в лабораторию в Корпус-Кристи.

В течение нескольких часов исследователи упорно размышляли, как вспоминает Хилтон. «Наконец нас осенило, что ответом может быть реакция Бекманна, известная уже в течение 80 лет». Эта реакция, являющаяся ключевой в синтезе нейлона, состоит в превращении оксимов в амиды. Химики решили, что если бы им удалось превратить 4-НАР в оксим путем его реакции с гидроксиламином, то потом в результате бекманновской перегруппировки можно было бы получить прямо ацетаминофен.

Потребовались два года и создание собственного химического производства, прежде чем удалось разработать технологию, которая позволила получить чистые белые кристаллы ацетаминофена. Однако консорциуму Hoechst удалось наладить массовое производство этого лекарства только через семь лет после того, как была создана технология его получения. Теперь химики полагают, что компания могла бы производить и многие другие препараты.

Антихаос и приспособление

Не исключено, что биологическая эволюция происходила не только путем естественного отбора. Результаты компьютерного моделирования позволяют предположить, что некоторые сложные системы проявляют склонность к самоорганизации

СТЮАРТ А. КАУФМАН

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ модели могут изменить представления биологов об истоках упорядоченности в эволюции. Все живые организмы являются ярко выраженными упорядоченными системами. Они обладают сложными структурами, которые поддерживали и даже воспроизводили себя благодаря слаженному взаимодействию химических и поведенческих процессов. Со времен Дарвина биологи рассматривали естественную эволюцию практически как единственный источник этого порядка.

Однако Дарвину и в голову не могла прийти мысль о существовании самоорганизации — недавно открытого природного свойства, присущего некоторым сложным системам. Возможно, биологический порядок отчасти отражает спонтанную упорядоченность, на фоне которой действовал механизм естественного отбора. Отбор придал определенную форму, но совсем не обязательно породил закономерности онтогенеза, или биологического развития индивидуального организма. В действительности способность к эволюции и приспособлению могла сама по себе явиться достижением эволюции.

Исследования, свидетельствующие в пользу этих выводов, пока еще носят предварительный характер и далеки от завершения. Тем не менее на основании математических моделей биологических систем, проявляющих самоорганизацию, уже можно делать предсказания, которые согласуются с наблюдаемыми свойствами организмов. По-видимому, мы подходим к пониманию эволюции как органического взаимодействия между отбором и самоорганизацией.

Чтобы понять, какую роль самоорганизация может играть в эволюции, необходимо дать краткое описание свойств, присущих сложным системам. На протяжении последних двух десятилетий в науке наблюдался взрыв интереса к таким системам в области как естественно-научных, так и общественных дисциплин. Исследо-

вания здесь отличаются такой новизной, что еще не успело выработаться общепринятое, логически стройное определение сложности.

Тем не менее некоторые свойства сложных систем уже проясняются. В частности, одно явление, наблюдающееся в некоторых случаях, привлекло к себе внимание очень многих людей, в том числе не занимающихся научной работой: речь идет о хаосогенных свойствах детерминистского «хаоса». Благодаря хаосу динамические нелинейные системы, упорядоченные в начальный момент, со временем могут стать совершенно дезорганизованными. На первый взгляд весьма сходные начальные условия могут привести к существенно различным результатам. Хаос в погодных условиях иллюстрируется так называемым эффектом бабочки: порхающая бабочка в Рио-де-Жанейро может изменить погоду в Чикаго.

Хаос, как бы он ни был интересен, — это лишь часть поведения сложных систем. Существует также не поддающееся интуитивному осознанию явление, которое можно было бы назвать антихаосом. Оно выражается в том, что некоторые весьма беспорядочные системы спонтанно «кристаллизуются», приобретая высокую степень упорядоченности. Я полагаю, что антихаос играет важную роль в биологическом развитии и эволюции.

Открытие антихаоса в биологии началось более 20 лет назад, когда я впервые попытался математически осмыслить, каким образом из опло-

дотворенной яйцеклетки образуется множество дифференцированных клеток различных типов. С тех пор математики, специалисты по компьютерным вычислениям и физики, занимающиеся твердым телом, а среди них — многие мои коллеги по институту в Санта-Фе (шт. Нью-Мексико), добились существенного прогресса.

БИОЛОГИЧЕСКИЙ мир полон сложных систем: тысячи генов, регулирующих друг друга в клетке; система клеток и молекул, осуществляющих иммунные реакции организма; миллиарды нейронов нервной системы, обеспечивающие поведение и обучение; переплетающиеся цепи эко-

ПЕТЛИ, ОБРАЗУЕМЫЕ ДНК, высвобожденной из этой бактерии, содержат тысячи генов. Гены действуют как саморегулирующаяся сеть, включающая и выключающая свои элементы. В клетках высших организмов встречаются еще более сложные генетические схемы. Вычислительные модели показывают, каким образом подобные сложные системы могут спонтанно организовывать себя и проявлять стабильные циклы генной активности, что присуще всему живому.



систем, изобилующих совместно эволюционирующими видами живых организмов. Хорошим примером тому, каким образом антихаос управляет развитием, может служить саморегулирующаяся система генома (полного набора генов организма).

У высших организмов, таких как человек, геном содержит в закодированном виде информацию, необходимую для производства около 100 тыс. различных белков. Одна из центральных догм биологии развития заключается в том, что различные специализированные клетки — клетки печени, нейроны и другие типы клеток — различаются между собой потому, что в них активны различные гены. Однако сейчас уже ясно и то, что все клетки организма содержат приблизительно одни и те же генетические инструкции. Клетки разного типа различаются, поскольку у них неодинакова общая картина генной активности, а не потому, что в них различные гены.

Геном действует подобно сложному параллельному компьютеру, или сети, в которой гены регулируют деятельность друг друга непосредственно либо с помощью своих продуктов. В данном случае клеточная дифференцировка основана на координирован-

ном поведении системы. Понимание логики и структуры регуляторной системы генома стало, таким образом, центральной задачей молекулярной биологии.

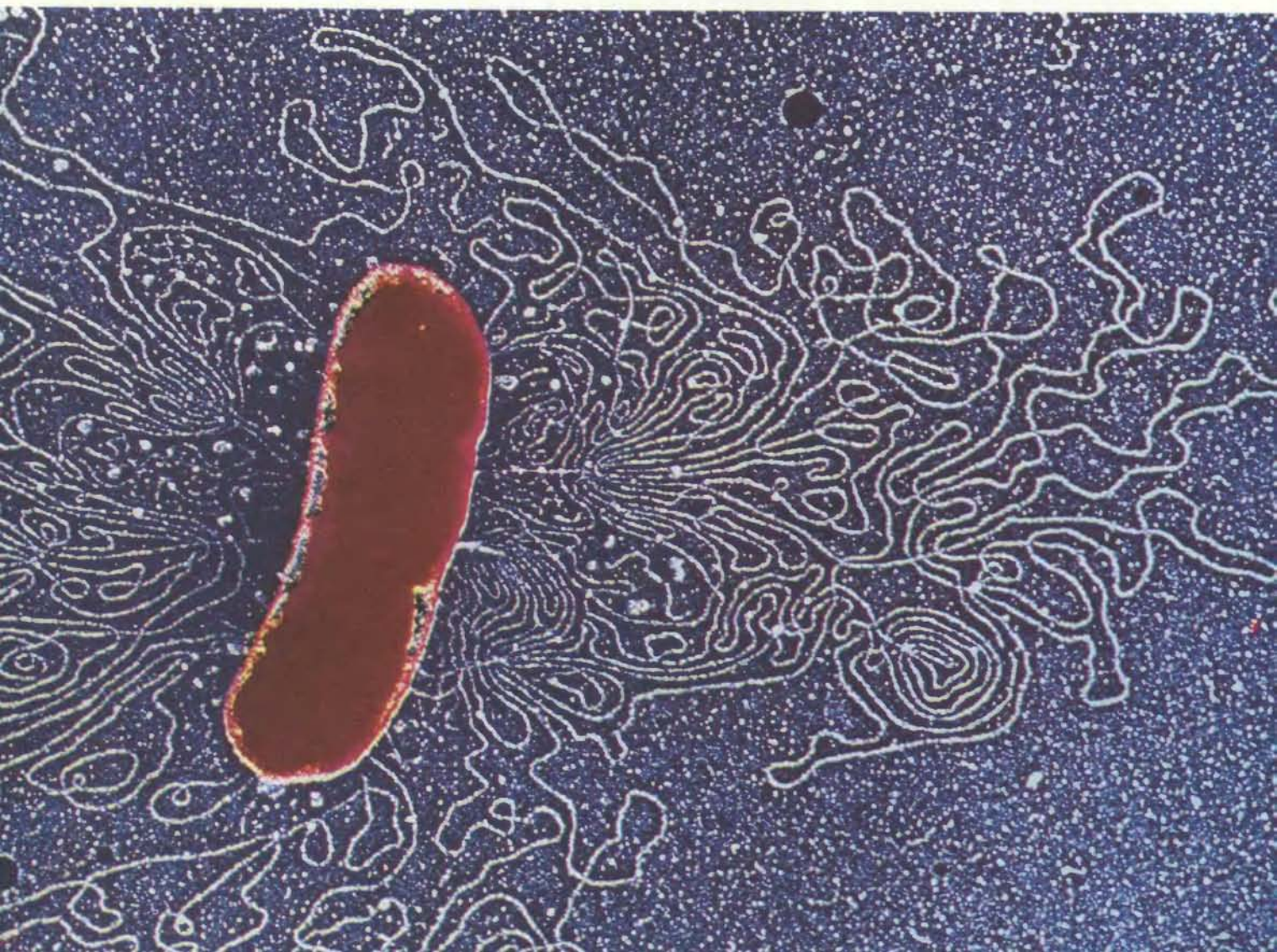
Математические модели призваны помочь исследователям разобраться в свойствах подобного рода сложных систем параллельной обработки. Каждая сложная система обладает тем, что можно назвать локальными свойствами: эти характеристики описывают, как объединены индивидуальные элементы в системе и как они могут воздействовать друг на друга. Например, в геноме такими элементами являются отдельные гены. Деятельность каждого гена регулируется относительно небольшим числом других генов или их продуктов, а их взаимодействия подчинены определенным правилам.

При любом заданном наборе локальных свойств можно построить большой ансамбль, или класс, всех возможных сложных систем, соответствующих этим свойствам. С помощью некоей новой разновидности статистической механики можно идентифицировать средние свойства всех различных систем, входящих в ансамбль. (В отличие от этого традиционная статистическая механика по-

зволяет находить средние характеристики по всем возможным состояниям одной и той же системы.) Индивидуальные системы в ансамбле могут весьма существенно отличаться друг от друга, тем не менее наилучшей гипотезой для предсказания свойств любой системы будут статистически типичные закономерности поведения и структуры.

Начнем с идеализации поведения каждого элемента системы — каждого гена в случае генома — как простой двоичной переменной (со значениями «включен», «выключен»). Для изучения поведения тысяч элементов, взаимосвязанных друг с другом, я воспользовался классом систем, называемых случайными булевыми сетями. Эти системы были названы так в честь англичанина Джорджа Буля, который изобрел алгебраический метод для математической логики.

В БУЛЕВОЙ сети каждая переменная регулируется другими, которые служат ей входами. Динамическое поведение каждой переменной — т. е. в каком из двух состояний она окажется в следующий момент — управляется логическим правилом переключения, которое называется булевой функцией. Функция определяет



поведение переменной в ответ на все возможные комбинации значений входных переменных. Одним из таких правил является булева функция OR, согласно которой переменная будет активной тогда и только тогда, когда хотя бы одна из ее входных переменных активна. С другой стороны, согласно функции AND, переменная будет активной тогда и только тогда, когда все ее входы активны.

Можно подсчитать, сколько булевых функций применимо к любому двоичному элементу в сети. Если у двоичного элемента K входов, то он может получить 2^K возможных комбинаций входных сигналов. Для каждой из этих комбинаций должен быть указан активный или неактивный результат. Следовательно, для этого элемента может существовать от 2 до 2^K булевых правил переключения.

Математически идеализированные

версии биологических систем, которые мы будем обсуждать, называются автономными случайными булевыми НК-сетями. Они состоят из N элементов, связанных K входами на каждый элемент; они автономны, потому что ни один из входных сигналов не приходит извне по отношению к системе. Одна из возможных булевых функций случайным образом ставится в соответствие каждому элементу. Присваивая значения величинам N и K , мы определяем ансамбль сетей с одинаковыми локальными свойствами. Случайная сеть — это одна из систем, случайно выбранная из ансамбля.

Всякая комбинация значений двоичных элементов представляет одно «состояние» сети. В каждом состоянии все элементы одновременно оценивают значения своих входов. В следующий момент, отсчитываемый тактовыми сигналами часового меха-

низма, элементы включаются или выключаются в соответствии со своими индивидуальными функциями. (Поскольку все элементы срабатывают одновременно, о системе говорят также, что она синхронна.) Система переходит из одного состояния в другое. Последовательность принимаемых состояний называется траекторией сети.

Важнейшее свойство случайных булевых сетей состоит в том, что они имеют конечное число состояний. Таким образом, рано или поздно система должна вернуться в одно из своих предыдущих состояний. Поскольку поведение системы точно детерминировано, она затем перейдет к тому же последующему состоянию, как и прежде. Следовательно, она будет циклически проходить через одну и ту же последовательность состояний.

Такие циклы состояний называются динамическими аттракторами сети: после того как траектория сети приходит к циклу состояний, она остается в нем. Множество состояний, «впадающих» в цикл или лежащих на нем, представляет собой «бассейн аттрактора» для данного цикла состояний. Каждая сеть рассматриваемого типа должна иметь по крайней мере один цикл состояний, а может иметь и больше.

Предоставленная сама себе сеть в конце концов установится в одном из своих аттракторов цикла состояний и будет там оставаться. Однако, если систему подвергнуть какому-либо возмущению, ее траектория может измениться. Нам стоит обсудить здесь два типа возмущений: минимальные возмущения и структурные возмущения.

Минимальное возмущение — это одиночное переключение двоичного элемента на его противоположное состояние. Если такое возмущение не выводит сеть из ее исходного бассейна притяжения, то сеть в конечном итоге вернется к своему исходному циклу состояний. Но если изменение вытолкнет систему в другой бассейн притяжения, траектория изменится: она попадет в новый цикл состояний, и характер поведения системы также станет другим.

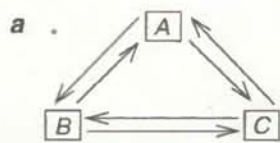
Устойчивость аттракторов, подверженных минимальным возмущениям, может варьироваться. Некоторые аттракторы восстанавливаются после любого одиночного возмущения, другие — после нескольких, а есть и такие, которые дестабилизируются в результате любого возмущения. Переключение состояния лишь одного элемента может вызвать целую лавину изменений в пове-

Булевы функции и циклы состояний

Булевы функции — это логические правила, описывающие, как двоичные элементы («включен», «выключен») реагируют на различные комбинации сигналов от других элементов. Применяя правила булевой логики к сети, можно предсказывать поведение системы.

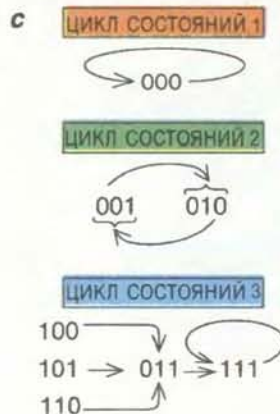
В приведенной простой сети (а) три элемента, каждый из которых получает сигналы от других. Элемент А подчиняется функции AND: он становится активным, если оба элемента В и С в предыдущий момент были активны. Элементы В и С подчиняются функции OR: каждый из них становится активным, если хотя бы один из других элементов был активным. Перечислив все возможные исходные комбинации состояний сети, из булевых функций можно вычислить все последующие состояния (b).

В крупном временном масштабе система проявляет очень простое поведение. Хотя вначале она может быть в одном из 8 состояний, в конечном итоге она устанавливается в одном из трех циклов состояний — устойчивых, повторяющихся последовательностей изменений (c). Если вначале все элементы выключены, сеть никогда не изменит своего состояния. Если активен лишь элемент В или С, то система будет колебаться между этими двумя состояниями. Любое другое состояние системы неизбежно ведет к тому, что все элементы становятся активными и в последующем остаются таковыми.



b

НАЧАЛЬНЫЕ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ			ПОСЛЕДУЮЩИЕ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ		
A	B	C	A	B	C
0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0
0	1	0	0	0	1
1	0	0	0	1	1
1	0	1	0	1	1
1	1	0	0	1	1
0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1

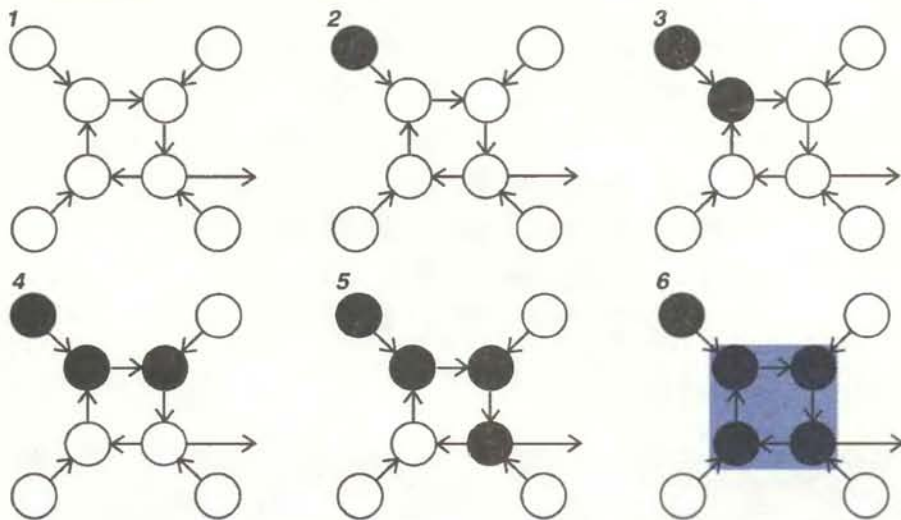


лении системы. Эти изменения можно назвать «ущербом», и они могут охватить ту или иную часть сети (см. Бак Пер, Чен Кан. Самоорганизованная критичность, «В мире науки», 1991, № 3). Структурное возмущение — это постоянная мутация в соединениях или булевых функциях сети. К такого рода возмущениям относятся, в частности, перемена мест входов у двух элементов или переключение от функции элемента OR к функции AND. Подобно минимальным возмущениям, структурные возмущения также могут приводить к ущербу, и различные сети обладают различной степенью устойчивости по отношению к ним.

По мере того как изменяются параметры, описывающие сложную булеву систему, ее поведение также изменяется: система может перейти от хаотического поведения к упорядоченному. Тип систем, который на удивление легко поддается пониманию, — это системы, у которых число входов у каждого элемента равно полному числу элементов, другими словами, здесь все соединено со всем. (Такие системы называются системами $K=N$.) Поскольку случайная сеть $K=N$ обладает максимально хаотическим поведением, состояние, следующее за данным, или состояние-последователь, является результатом совершенно случайного выбора. Поведение сети хаотично.

Один из признаков беспорядочности в таких системах заключается в том, что с ростом числа элементов длина циклов состояний возрастает по экспоненциальному закону. Например, сеть $K=N$, состоящая из 200 элементов, может иметь 2^{200} (около 10^{60}) различных состояний. Средняя длина циклов состояний в таких сетях приближенно равна квадратному корню из этого количества, т. е. в данном случае 10^{30} . Даже если время перехода от одного состояния к другому принять равным одной микросекунде, то для полного прохождение сетью ее аттрактора потребуются время, в миллиарды раз превышающее возраст Вселенной.

Сети $K=N$ проявляют также максимальную чувствительность к начальным условиям. Поскольку состояние-последователь для любого данного состояния существенно случайно, почти любое возмущение, переключаящее один элемент, резко изменит последующую траекторию сети. Таким образом, минимальные изменения обычно обуславливают значительный ущерб — перемены в поведении системы — почти немедленно. Так как эти системы очень чувствительны к исходным условиям, а длина



«ЗАМОРОЖЕННЫЕ» ЭЛЕМЕНТЫ, возникающие иногда в системе, не способны изменить состояние. В этой маленькой иллюстративной системе все элементы управляются булевыми функциями OR, и в начальный момент все выключены. После того как включается один элемент, по системе распространяется волна изменений (черный). Благодаря данной конфигурации сети и ее булевым функциям некоторые элементы (синий) застывают во включенном состоянии. Они вернутся к нему, даже если изменить их состояние или состояние одного из их входов.

их циклов состояний возрастает экспоненциально, я характеризую их как хаотические.

Однако, несмотря на описанные хаотические черты, системы $K=N$ проявляют один удивительный признак порядка: число возможных циклов состояний (и бассейнов притяжения) очень мало. Ожидаемое количество циклов равно числу элементов, деленному на основание натурального логарифма e . Система из 200 элементов, обладающая 2^{200} состояний, например, будет иметь лишь около 74 различных циклов поведения.

Кроме того, около двух третей всех возможных состояний попадает в бассейны, принадлежащие лишь нескольким аттракторам — а иногда только одному. У большинства аттракторов относительно небольшое число состояний. Устойчивость аттрактора пропорциональна размеру его бассейна, т. е. количеству состояний на траекториях, впадающих в данный аттрактор. Крупные аттракторы устойчивы ко многим возмущениям, а мелкие, как правило, неустойчивы.

Такое хаотическое поведение и структурные особенности присущи не только сетям $K=N$. Они наблюдаются в сетях до тех пор, пока K (число входов на один элемент) не уменьшится до величины порядка трех. Однако когда K падает до двух, свойства случайных булевых сетей претерпевают резкие изменения: внезапно они начинают проявлять коллективную упорядоченность.

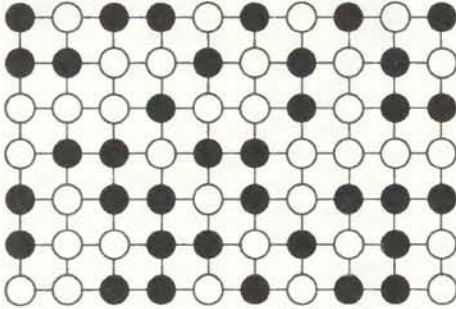
В сетях $K=2$ как число альтерна-

тивных циклов состояний, так и их ожидаемая длина уменьшаются приблизительно до корня квадратного из количества элементов сети. Циклы состояний в таких системах оказываются устойчивыми почти ко всем минимальным возмущениям, а структурные возмущения лишь незначительно изменяют их динамическое поведение. (Сети, обладающие только одним входом на элемент, образуют специальный упорядоченный класс. Их структура вырождается в изолированные циклы с обратной связью, которые не взаимодействуют друг с другом.)

Прошло уже более 20 лет с тех пор, как я открыл эти свойства случайных сетей, и они не перестают удивлять меня. Если бы мы захотели проанализировать сеть из 100 тыс. элементов, каждый из которых имеет два входа, то диаграмма соединений системы представляла бы невероятно сложную паутину. Система могла бы принимать 2^{100000} (это примерно 10 в степени 30000) различных состояний. Однако в ее поведении спонтанно наступил бы порядок: она вошла бы в один из своих примерно 370 различных циклов состояний. При времени перехода между состояниями 1 мкс эта сеть пересечет свой крошечный аттрактор цикла за 370 мкс — заметно меньше, чем период, в миллиарды раз превышающий возраст Вселенной, как в случае хаотической сети при $K=N$.

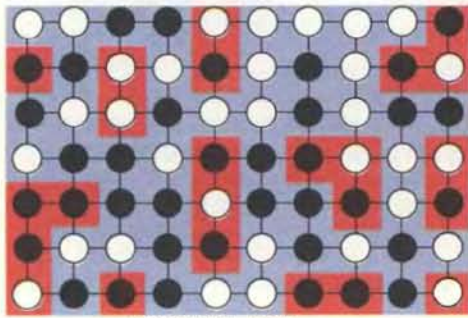
ДЛЯ СЕТЕЙ с двумя и менее входами на элемент в упорядоченном режиме чувствительность к началь-

НАЧАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ СЕТИ

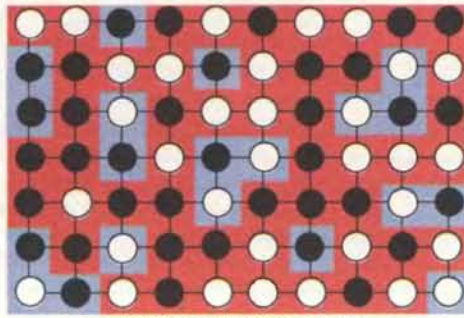


$K = 2$, или
БОЛЬШОЕ СМЕЩЕНИЕ

$K > 3$, или
МАЛОЕ СМЕЩЕНИЕ



«ТВЕРДАЯ» СЕТЬ



«ГАЗООБРАЗНАЯ» СЕТЬ

ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ между «твердым» и «газообразным» состояниями могут иметь место в саморегулирующихся сетях в зависимости от их локальных характеристик. Если булевы функции элементов смещены или если каждый элемент имеет только два входа ($K = 2$), то сеть, в которой все элементы сначала могут переключаться, в конце концов становится стабильной и, следовательно, твердой. Такие упорядоченные системы состоят из обширных паутин замороженных элементов (синий) и изолированных островков переменных элементов (красный). Если функции не смещены или степень связности элементов высока ($K > 3$), то система превращается в газ и ведет себя хаотично. Лишь маленькие островки элементов будут заморожены.

ным условиям мала: образно говоря, бабочка спит. В хаотическом режиме траектории сети расходятся, начавшись даже в очень сходных состояниях, в то время как в упорядоченном режиме сходные состояния довольно скоро сходятся на одних и тех же состояниях — потомках.

Как следствие в случайных сетях с двумя входами на элемент каждый аттрактор оказывается устойчивым по отношению к большинству минимальных возмущений. Аналогичным образом большинство мутаций в таких системах лишь незначительно изменяют аттракторы. Поэтому упорядоченный режим сети характеризуется свойством гомеостаза: сети обычно возвращаются к своим исходным аттракторам после возмущений. А гомеостаз, как мы увидим в дальнейшем, является свойством всех живых организмов.

Почему же случайные сети с двумя входами на элемент демонстрируют такой строгий порядок? Ответ, по-видимому, сводится к тому, что у них развивается замороженное ядро, или связанная сеть элементов, которые по существу заперты в активном или не-

активном состоянии. Замороженное ядро создает переплетающиеся стены постоянства, которые прорастают через всю систему. Как результат система разделяется на неизменное замороженное ядро и островки из элементов, изменяющих свое состояние. Эти островки функционально изолированы: переключения состояний в одном островке не могут распространиться через замороженное ядро к другим островкам. Система в целом становится упорядоченной, потому что изменения в ее поведении остаются мелкими и носят локальный характер. Низкая степень связности является, следовательно, достаточным условием для возникновения упорядоченного поведения в беспорядочных переключающихся системах.

Однако названное условие не является необходимым. В сетях с высокой связностью порядок все равно возникает, если в булевых правилах переключения элементов есть некоторые смещения. Некоторые булевы функции чаще переключают элементы в активное, чем в пассивное, состояние, и наоборот. Например, функция OR с двумя входами переводит элемент в

активное состояние в трех из четырех возможных ситуаций, возникающих при различных значениях двоичных сигналов на входах.

Ряд физиков, занимающихся теорией твердого тела, среди них Дитрих Штауффер из Кёльнского университета, а также Бернар Деррида, Жерар Вайсбух и Т.К. де Арканжели из Эколь нормаль в Париже изучали эффекты, обусловленные смещенными функциями. Они выяснили, что, когда степень смещения превышает критическое значение, «кластеры однородности» элементов, имеющих замороженные состояния, связываются друг с другом и прорастают по всей сети. Динамическое поведение сети превращается в паутину замороженных элементов и функционально изолированных островков из элементов, изменяющих состояние.

Порядок, разумеется, очень похож на тот, что был рассмотрен для сетей с низкой связностью. Одновременные переключения активности одного элемента, как правило, не могут распространиться за пределы изолированного островка и, следовательно, не могут вызвать значительного ущерба. С другой стороны, если уровень смещения намного ниже критического значения (как это имеет место в случае хаотически активных систем), то по системе распространяется паутина колеблющихся элементов, оставляя лишь небольшие островки замороженных элементов. Минимальные возмущения в этих системах приводят к целым лавинам ущерба, которые могут изменить поведение большинства незамороженных элементов.

КРИСТОФЕР Лэнгтон, специалист по теории вычислений из Национальной Лос-Аламосской лаборатории США, ввел одну аналогию, помогающую лучше осмыслить переходы между порядком и беспорядком в различных ансамблях сетей. Он ассоциирует поведение сети с фазами вещества: упорядоченные сети — твердое тело, хаотические сети — газ, а сети промежуточного поведения — жидкость. (Эту аналогию не следует интерпретировать излишне буквально: настоящие жидкости представляют собой самостоятельную фазу вещества, а не просто переходную между газом и твердым телом.)

Если смещения функций в упорядоченной сети уменьшить до точки, близкой к критической, можно слегка «расплавить» замороженные компоненты. При этом возникают интересные образцы динамического поведения на краях хаотической зоны. На этом фазовом переходе существуют

как большие, так и маленькие размо-
роженные островки. Минимальные
возмущения вызывают многочислен-
ные мелкие лавины и несколько круп-
ных. Таким образом, отдельные
участки сети могут сообщаться друг с
другом (другими словами, оказывать
влияние на поведение друг друга) в со-
ответствии со степенным законом
распределения: близко соседствующие
участки сообщаются часто за
счет многих мелких лавин ущерба,
удаленные друг от друга участки со-
общаются за счет относительно ред-
ких крупных лавин.

Отметив эти характеристики, Лэнг-
тон предположил, что сети парал-
лельной обработки данных, распола-
гающиеся на границе хаоса, вероятно,
обладают способностью к выполне-
нию чрезвычайно сложных вычисле-
ний. В целом идея представляется
вполне правдоподобной. Высокохао-
тичные сети будут настолько беспор-
ядочными, что контролировать их
сложное поведение весьма трудно. С
другой стороны, высокоупорядочен-
ные сети слишком заморожены, что-
бы координировать сложное поведе-
ние. Однако по мере того как заморо-
женные компоненты расплавляются,
становится возможной более сложная
динамика, позволяющая осуществ-
лять более замысловатую координа-
цию процессов, развивающихся в се-

ти. Самая высокая степень сложности
процессов, которые еще координиру-
ются системой, приходится на жид-
кий переход между твердым и газо-
образным состояниями.

Системы, располагающиеся в жид-
кой переходной фазе, возможно, име-
ют особую связь с эволюцией, по-
скольку они, по-видимому, обладают
оптимальной способностью эволю-
ционировать. Согласно теории Дар-
вина, мутации и естественный отбор
улучшают биологическую систему за
счет последовательного накопления
минимальных благоприятных измене-
ний, точно так же как технология
может быть улучшена путем много-
численных мелких усовершенствований.
Однако не все системы обладают
способностью к приспособлению и
совершенствованию при таком меха-
низме эволюции. Например, сложная
программа, выполняющаяся на стан-
дартном компьютере, не может эво-
люционировать за счет случайных му-
таций: практически любое изменение
в кодах ее команд катастрофически
повлияет на результаты ее работы.
Чем более сжатыми являются эти ко-
ды, тем меньшей способностью к эво-
люции обладает программа.

Сети, расположенные на границе
между порядком и хаосом, могут об-
ладать достаточной гибкостью для
того, чтобы быстро и успешно адап-

тироваться за счет накопления полез-
ных изменений. В таких системах
большинство мутаций приводит
лишь к незначительным последстви-
ям по самой гомеостатической приро-
де этих систем. Однако некоторые от-
носительно редкие мутации могут
вызвать более масштабные каскады
изменений. Поэтому пограничные си-
стемы обычно адаптируются к изме-
нениям в окружающей среде посте-
пенно, однако при необходимости
они способны к быстрой адаптации.
Как раз эти свойства и наблюдаются
у живых организмов.

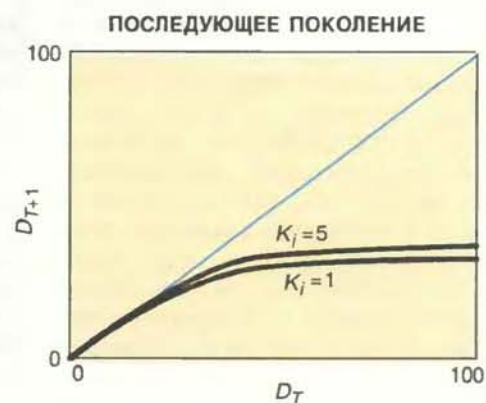
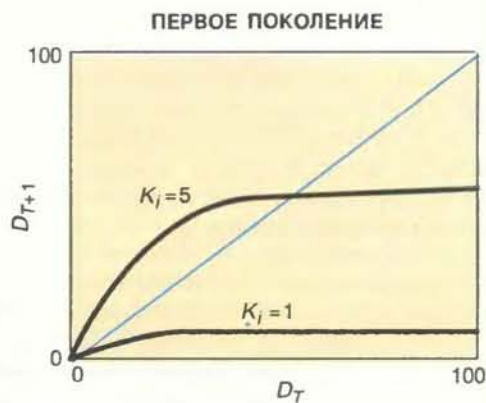
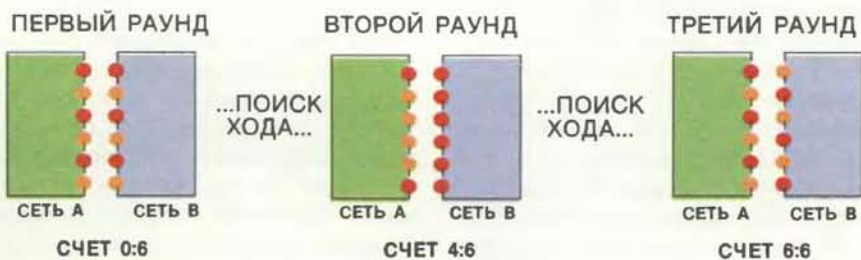
Если булевы сети параллельной об-
работки сигналов, расположенные на
границе между порядком и хаосом,
обладают наилучшей способностью к
приспособлению, то, по-видимому,
они неизбежно должны быть целью
естественного отбора. Сама способ-
ность пользоваться возможностями
естественного отбора может быть
одним из первых свойств, возникших
в результате отбора.

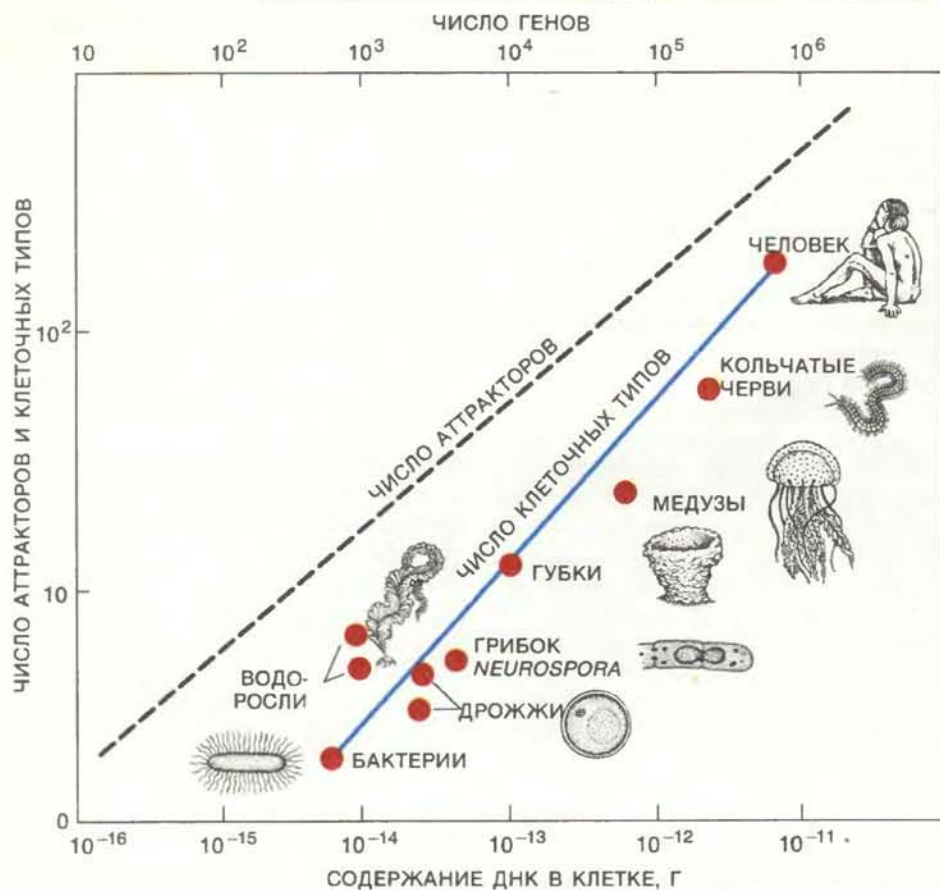
ЭТО СМЕЛАЯ и, пожалуй, даже
изысканная гипотеза, но верна ли
она? Физик Норман Х. Пэккард из Ил-
линойского университета в Шам-
пейн-Урбане, наверное, был первым
человеком, который задался вопро-
сом, может ли отбор привести буле-
вы сети параллельной обработки на

Игра в несоответствия

Компьютерная игра показывает как естественный отбор может
привести случайные сети к грани хаоса. Пары сетей получают мно-
го очков, если конфигурации в их шести элементах «сопоставле-
ния» максимально отличаются друг от друга. После сравнения каждая
сеть принимает конфигурацию сопоставляемых элементов другой сети
в качестве входа, вырабатывает ответные действия, после чего происхо-
дит повторное сравнение (см. рисунок внизу). После 10 сравнений каж-
дая сеть находит нового оппонента. Сети, набравшие наибольшее коли-
чество очков, имеют преимущество при воспроизводстве в следующем
поколении. Иногда мутации случайным образом изменяют локальные ха-
рактеристики сетей. За несколько поколений сети обычно улучшают
свою игру. Независимо от начальных условий они приближаются к грани-
це между порядком и хаосом.

Эти изменения можно наблюдать, следя за тем, как сходятся или рас-
ходятся в различных случаях траектории сетей. D_T — доля элементов,
имеющих различные значения в двух начальных состояниях сети. D_{T+1}
— та же величина для последующих состояний. Когда D_T мало в очень
хаотических сетях ($K_i = 5$), траектории расходятся ($D_{T+1} > D_T$). В очень
упорядоченных сетях ($K_i = 1$) траектории сходятся ($D_{T+1} < D_T$). После не-
скольких поколений игры в «несоответствия» хаотические и упорядочен-
ные сети «усмиряют» свое поведение (см. рисунки справа).





ЧИСЛО ТИПОВ КЛЕТОК в организмах, по всей видимости, математически зависит от числа генов в геноме данного организма. На этой диаграмме число генов предполагается пропорциональным количеству ДНК в клетке. Если регуляторные генные системы являются сетями при $K = 2$, то число аттракторов системы вычисляется как квадратный корень из числа генов. В действительности число клеточных типов различных организмов растет с увеличением количества ДНК.

грань хаоса? По крайней мере в некоторых случаях на этот вопрос можно ответить утвердительно. Пэккард установил, что такая эволюция имеет место в популяции простых булевых сетей, называемых клеточными автоматами, которые были выбраны как объект для эксперимента ввиду их способности выполнять то или иное простое вычисление.

Недавно мне вместе с моим коллегой Сонке Джонсеном из Пенсильванского университета удалось найти еще одно свидетельство эволюции, происходящей на краю хаоса. Мы изучали вопрос о том, можно ли заставить булевы сети играть друг с другом в игры (см. вставку в рамке на с. 63). Наши результаты также свидетельствуют о том, что переход между порядком и хаосом может быть аттрактором для эволюционной динамики сетей, выполняющих ряд как простых, так и сложных задач. Все изученные популяции сетей совершенствовались в игре значительно быстрее, чем это было бы возможно только за счет случайных факторов. Организация сетей, добившихся успеха, также эволюционировала: их поведение сходилось к границе между порядком и хаосом.

Если эти результаты подтвердятся в ходе дальнейших исследований, можно будет сделать однозначный вывод, что «жидкий» переход между упорядоченной и хаотической организацией является характерной целью отбора для систем, способных координировать сложные процессы и приспособляться к изменениям. Если следовать логике, то такие пограничные системы должны встречаться и в биологическом мире.

В какой мере порядок и хаос проявляются в системах геномов вирусов, бактерий, растений и животных? Обычно активность каждого гена регулируется непосредственно несколькими другими генами или молекулами (их число, по-видимому, не превышает десятка). Следовательно, логическая диаграмма генома относительно разрежена, и отдельные элементы генной системы имеют немного входов. Кроме того, почти все известные регулируемые гены управляются определенным классом булевых переключательных правил, называемых канализирующими функциями. В канализирующих функциях по крайней мере один вход имеет значение, которое уже само по себе может определить состояние активности регулиру-

емого элемента. (Типичным примером канализирующей функции является логическая функция OR.)

Так же как и низкая связность и смешенность булевых правил, обилие канализирующих функций в сети может привести к возникновению обширного замороженного ядра. Поэтому, увеличивая долю канализирующих функций в сети, мы можем подталкивать систему к фазовому переходу между хаосом и порядком. Поскольку регуляторные системы геномов имеют относительно разреженные связи и, по-видимому, управляются канализирующими функциями, такие сети с большой вероятностью должны проявлять свойства систем параллельной обработки с прорастающими замороженными элементами; они также должны иметь небольшое число мелких устойчивых аттракторов; ущерб в них должен ограничиваться небольшими каскадами лавин, а мутации должны приводить к относительно скромным изменениям динамики.

В ОДНОМ отношении интерпретация смысла антихаоса в сложных системах имеет тесную связь с биологией: тип клетки может соответствовать аттрактору в динамике генома. У генома, содержащего 10^5 генов, потенциально существует по крайней мере 10^{30000} способов поведения генов. Регуляторная сеть генома дирижирует этими возможностями, порождая изменяющиеся во времени картины генной активности. Однако стабильный клеточный тип приводит к устойчивой экспрессии (т. е. функциональному проявлению: экспрессия гена означает синтез кодируемого им белка) ограниченного набора генов. Естественно предположить, что тип клетки соответствует аттрактору цикла состояний: он воплощает в себе довольно стабильный цикл экспрессии в определенном геномном наборе.

При такой интерпретации спонтанно возникающий порядок в сетях с низкой связностью и канализирующими булевыми функциями дает основания для нескольких предсказаний по отношению к реальным биологическим системам. Во-первых, каждый клеточный тип должен соответствовать очень небольшому числу картин генной экспрессии, через которые проходит цикл. Можно, следовательно, подсчитать, какой должна быть длина таких клеточных циклов.

Время, необходимое для того, чтобы в эукариотической (т. е. имеющей ядро; к эукариотам относятся большинство организмов, кроме бактерий и вирусов) клетке ген стал активным после получения соответствующего стимула, составляет от 1 до 10 мин. Длина аттрактора в геноме с 10^5 гена-

ми будет насчитывать около 370 состояний. Следовательно, клетка должна пробегать через все комбинации генной активности своего типа приблизительно за период от 370 до 3700 мин. Эта оценка неплохо аппроксимирует временной диапазон, характерный для реальных биологических систем. Как мы и предсказывали, здесь также, по всей видимости, существует отношение, приблизительно выражаемое функцией квадратного корня, между длиной клеточных циклов и количеством ДНК в клетках бактерий и высших организмов.

Если тип клетки — это аттрактор, то можно попробовать предсказать, сколько различных клеточных типов должен содержать организм. Число аттракторов приближенно равно квадратному корню из числа элементов сети; следовательно, число клеточных типов должно приблизительно соответствовать квадратному корню из числа генов. Если предположить, что число генов пропорционально количеству ДНК в клетке, то у человека должно быть порядка 10^5 генов и 370 клеточных типов. Согласно самым последним подсчетам, у человека насчитывается 254 различных типов клеток, так что и здесь наши предсказания близки к реальности.

Для многих крупных таксономических групп живых организмов число клеточных типов возрастает приблизительно как квадратный корень от числа генов в клетке. Так, у бактерий 1 или 2 клеточных типа, у губок, по-видимому, от 12 до 15, у кольчатых червей около 60.

Поскольку не все гены участвуют в производстве белков, число генов может расти не совсем пропорционально количеству ДНК. Поэтому предсказанное число клеточных типов может возрастать как показательная функция с дробной степенью, большей половины (половина — это квадратный корень), но меньшей единицы. На самом деле, по консервативным оценкам, число клеточных типов возрастает не круче линейной функции. Такой диапазон поведения мы находим в сложных булевых сетях. В противоположность этому другие простые модели систем генома предсказывают, что число клеточных типов должно расти экспоненциально как функция числа генов.

Другое предсказание касается устойчивости клеточных типов. Если тип клетки — это аттрактор, то большинство возмущений не должно приводить к его изменению; стабильность клеточных типов — уже доказанное свойство систем регуляции генной активности.

Клеточная дифференцировка, согласно этой модели, может явиться

ответом на возмущение, которое передвинуло клетку в бассейн притяжения, характерный для другого клеточного типа. Однако в канализирующем ансамбле клетка каждой модели может дифференцироваться непосредственно лишь несколькими путями, ведущими к альтернативным клеточным типам, поскольку «близкими» соседями каждого аттрактора могут быть лишь несколько других. Следовательно, индивидуальное развитие оплодотворенной яйцеклетки должно происходить путем последовательных ветвей дифференцировки. Другими словами, как только клетка начинает дифференцироваться в определенном направлении, она теряет возможность дифференцироваться в других направлениях. Насколько известно, клеточная дифференцировка в многоклеточных организмах принципиально ограничена и организована как последовательность ветвящихся путей начиная с Кембрийского периода, т. е. уже почти в течение 600 млн лет.

В канализирующих сетях порядок возникает благодаря тому, что значительная часть двоичных элементов впадает в стабильное, замороженное состояние. Это устойчивое ядро элементов идентично почти во всех аттракторах. Как результат в клетках всех типов данного организма должны экспрессироваться по большей части одни и те же гены. Как правило, лишь несколько процентов генов должны проявлять свою активность. Оба этих утверждения оказываются справедливыми в применении к биологическим системам.

Модель аттракторов для клеточных типов предсказывает также, что мутация в единичном гене обычно должна иметь довольно ограниченные последствия. Лавины ущерба (или изменений в характере активности), обусловленные мутацией, не должны распространяться на подавляющее большинство генов в регуляторной сети. Изменения активности должны ограничиваться небольшими, отдельными островками (группами) генов. Эти гипотезы также оказываются правильными по отношению к реальным генетическим системам.

Более того, ожидаемые размеры размороженных островков в генной системе близки к предсказываемым размерам таких лавин. Например, у плодовой мушки *Drosophila* гормон под названием экдизон может вызвать каскад изменений активности, охватывающий около 150 генов из общего их числа, равного по крайней мере 5000. Ожидаемый размер лавин в канализирующих геномах с 5000 элементов или системах с низкой связ-

ностью и замороженным ядром, охватывающим примерно 80% генов, равен 160.

ПРИНИМАЕМЫЕ в качестве моделей генных систем системы, расположенные на границе между порядком и хаосом, довольно близко соответствуют многим свойствам клеточной дифференцировки в процессе онтогенеза — свойствам, которые присущи всем организмам, расходящимся по различным ветвям эволюции на протяжении более 600 млн лет. Эти параллели свидетельствуют в пользу гипотезы, что эволюция настроила адаптивную регуляторную систему генов на упорядоченную область и, возможно, на пограничный участок между порядком и хаосом. Если указанные гипотезы подтвердятся в ходе дальнейших исследований, то биологи, возможно, получат основы стройной теории, касающейся генной организации, поведения и способности эволюционировать.

Внимание читателей!

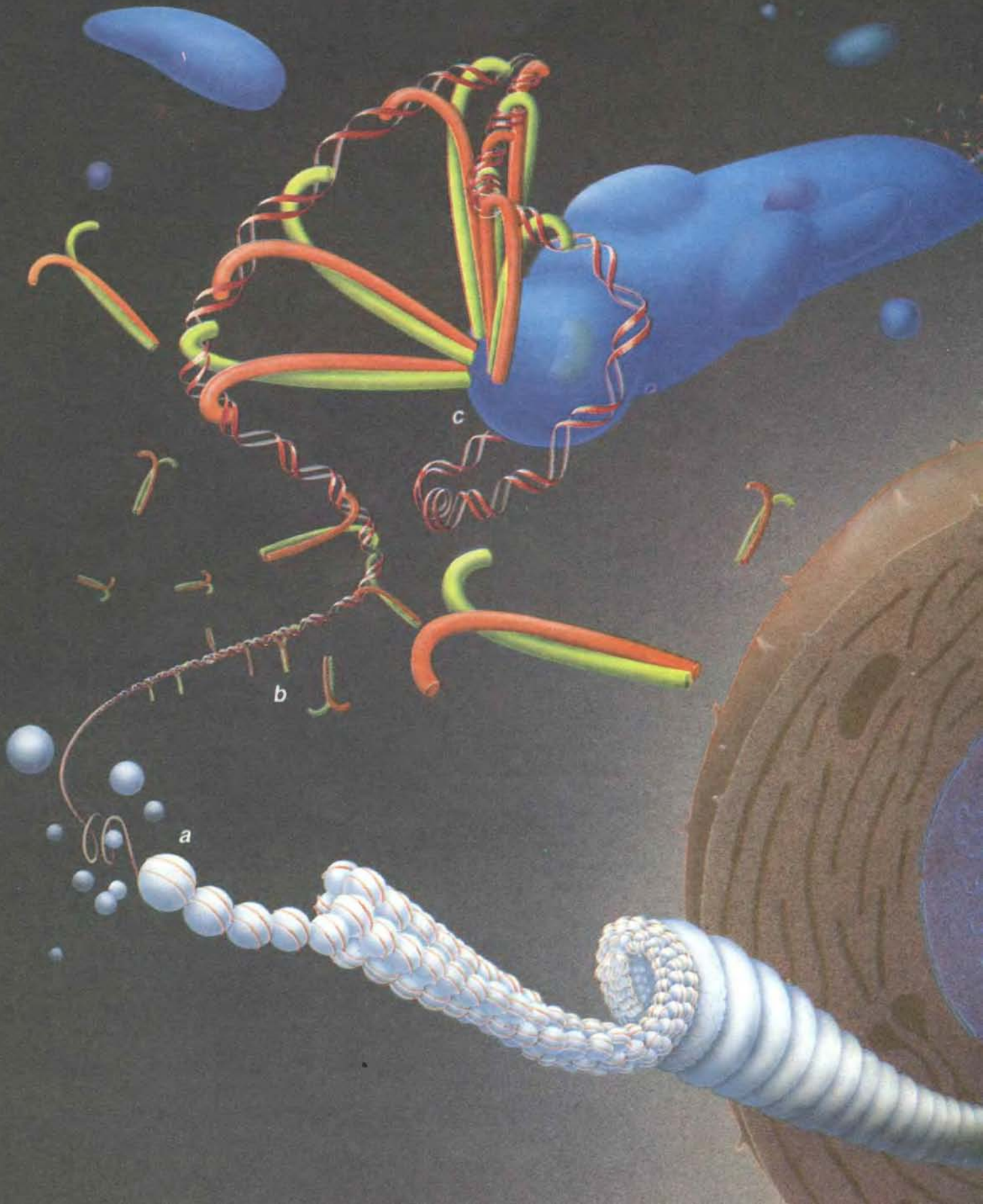
Англо-французско-
русский словарь
по сейсморазведке
М. Дюбессе, Г. Гро,
М. Гийом и др.

Книга представляет собой первый в мировой литературе трехязычный словарь по сейсморазведке. Он содержит около 5 тысяч терминов, часть из них относится к сейсмологии и сейсмическому районированию. Такой словарь облегчает обмен научными достижениями и идеями в области геофизических и геологических исследований.

Для геофизиков, геологов, преподавателей и студентов соответствующих специальностей, а также переводчиков геологической литературы.

1992 г. 15 л. Цена 10 р.50 к.

Эту книгу вы сможете заказать в магазинах научно-технической литературы



УМНЫЕ ГЕНЫ

Каким образом при одинаковых генах
получаются разные клетки?
Это определяется тем, какие именно гены
активируются и когда. В настоящее время
интенсивно изучаются химические
сигналы, регулирующие процесс
клеточной дифференцировки

Тимоти М. Бердсли

Почти 50 лет назад было установлено, что в процессе дифференцировки клеток одни гены «включаются», другие «выключаются», в результате чего оплодотворенная яйцеклетка превращается в цветок, муху или человека. В развивающемся организме клетки совершают сложные перемещения и изменяют свою форму, постепенно образуя специализированные ткани. В организме человека, например, более 250 различных типов клеток, и каждая клетка должна быть «на своем месте» и «при своем деле» (так, клетки печени в мозгу были бы совершенно бесполезны). Однако практически все клетки данного организма несут в своей ДНК одинаковые гены.

Одна из главных тайн развивающегося организма — его способность «дирижировать» активностью своих генов так, что клетки оказываются в должном месте и выполняют те функции, для которых предназначены, — сейчас начинает приоткрываться. Сегодня известно (и это показано сотнями экспериментов), что у живых организмов работа большинства генов регулируется на уровне транскрипции — так называется процесс копирования генетической информации, содержащейся в ДНК, с образованием РНК, служащих матрицей для синтеза множества белков, определяющих специфику клеток. По словам эмбриолога Эрика Х. Дейвидсона из Калифорнийского технологического института, идея о том, что регуляция генов осуществляется на уровне транскрипции, стала основным положением молекулярной биологии.

Дейвидсон и другие исследователи пытаются выяснить, как управляется транскрипция у многоклеточных организмов. Дейвидсон предложил термин «умные гены» (smart genes) для множества тех генов, которые реагируют на комбинации сигналов между генами регуляторной сети. «Мы изучаем то, что я называю мозгом умного гена», — говорит Дейвидсон. «Мозгом» в

КЛЮЧЕВЫЕ ГЕНЫ клеточной дифференцировки приводятся в действие с помощью белковых комплексов, которые связываются со специфическими участками ДНК. Процесс начинается с того, что ДНК освобождается от гистонов (а), которые удерживают ее в скрученном неактивном состоянии. Затем (b) с ДНК связываются факторы транскрипции (сдвоенные «крючки»), образуя транскрипционный комплекс (с). В результате активируются белки, сопряженные с ферментом, осуществляющим транскрипцию — синтез РНК-копии данного гена (d).

данном случае является сложный ансамбль белков, известный как транскрипционный комплекс. Чтобы происходил непростой процесс транскрипции, эти белки, действующие в качестве химических сигналов, должны связываться с ДНК поблизости от гена-мишени.

Весь комплекс можно рассматривать как своего рода компьютер, в котором сигналы складываются в определенные комбинации, и в зависимости от полученной комбинации данный ген «включается» или бездействует. Если соответствующие химические сигналы (которые могут поступать в клетку и извне) складываются в должную комбинацию, активируется фермент, ведущий транскрипцию, и образуется матричная РНК.

Хотя в большинстве своем такие исследования проводятся на маленьких плодовых мушках, микроскопических червях или даже на выделенных из клеток белковых структурах, есть серьезные основания думать, что их результаты приложимы ко всем живым существам, включая человека. Основания эти — в той мере, в какой об этом считают возможным говорить сами ученые, — состоят в принципиальном сходстве главных механизмов генетического контроля у всех многоклеточных организмов. По мнению Дейвидсона, «умный ген» может быть одним из универсальных принципов, на которых строятся все процессы индивидуального развития.

Помимо чисто научного интереса, понимание того, каким образом гены управляют и управляются в развивающемся организме, может открыть новые способы борьбы с болезнями, возникающими при нарушении процессов развития. К ним относятся не

только наследственные заболевания, но также рак и аутоиммунные патологические состояния. Некоторые фармацевтические фирмы уже разрабатывают препараты, действие которых основано на специфичном связывании с определенными последовательностями ДНК. Когда будут более понятны механизмы, регулирующие работу генов, возможно, станет реальным целенаправленное создание лекарств, «включающих» или «выключающих» определенные гены; тем самым совершился бы принципиальный скачок в медицине.

Генетические «чертежи»

Предположение о том, что на активность генов могут влиять химические сигналы, родилось еще в ранний период эмбриологии. Когда у эмбриона лягушки хирургическим путем кусочки ткани пересаживали с одного места на другое, из трансплантата иногда образовывался тот же орган, который должен был сформироваться из этой ткани на прежнем ее месте, — например, получались лягушки с ненормально расположенными ногами. Однако если подобную операцию делали на достаточно ранней эмбриональной стадии, развитие шло нормально. Эти результаты наводили на мысль, что некие невыявленные сигналы могут влиять на последующую экспрессию генов.

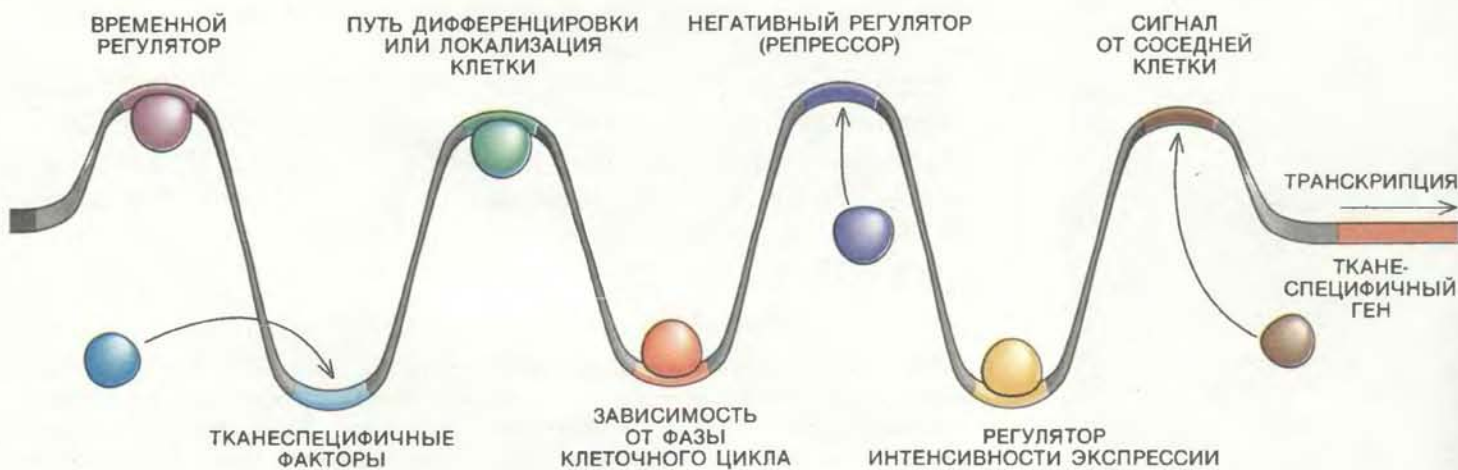
Удовлетворительных объяснений таких фактов не было до 1960 г., когда французские биологи Франсуа Жакоб и Жак Моно провели серию экспериментов с вездесущей бактерией, называемой кишечной палочкой (*Escherichia coli*). Было известно, что, когда в окружающей *E. coli* среде появляется лактоза (молочный сахар),

бактерии быстро начинают синтезировать ферменты, обеспечивающие утилизацию этого соединения. Жакоб и Моно предположили, что в ответ на появление лактозы некий специальный белок активирует «молчащие» до того гены.

«В геноме содержится не только набор «чертежей», но и координированная программа синтеза белков, и механизмы, контролирующие ее исполнение», — писали Жакоб и Моно. Они также выдвинули ключевое предположение, что белковый «переключатель» работает, узнавая специфическую последовательность нуклеотидов в ДНК вблизи управляемого им гена и связываясь с ней, что подавляет транскрипцию.

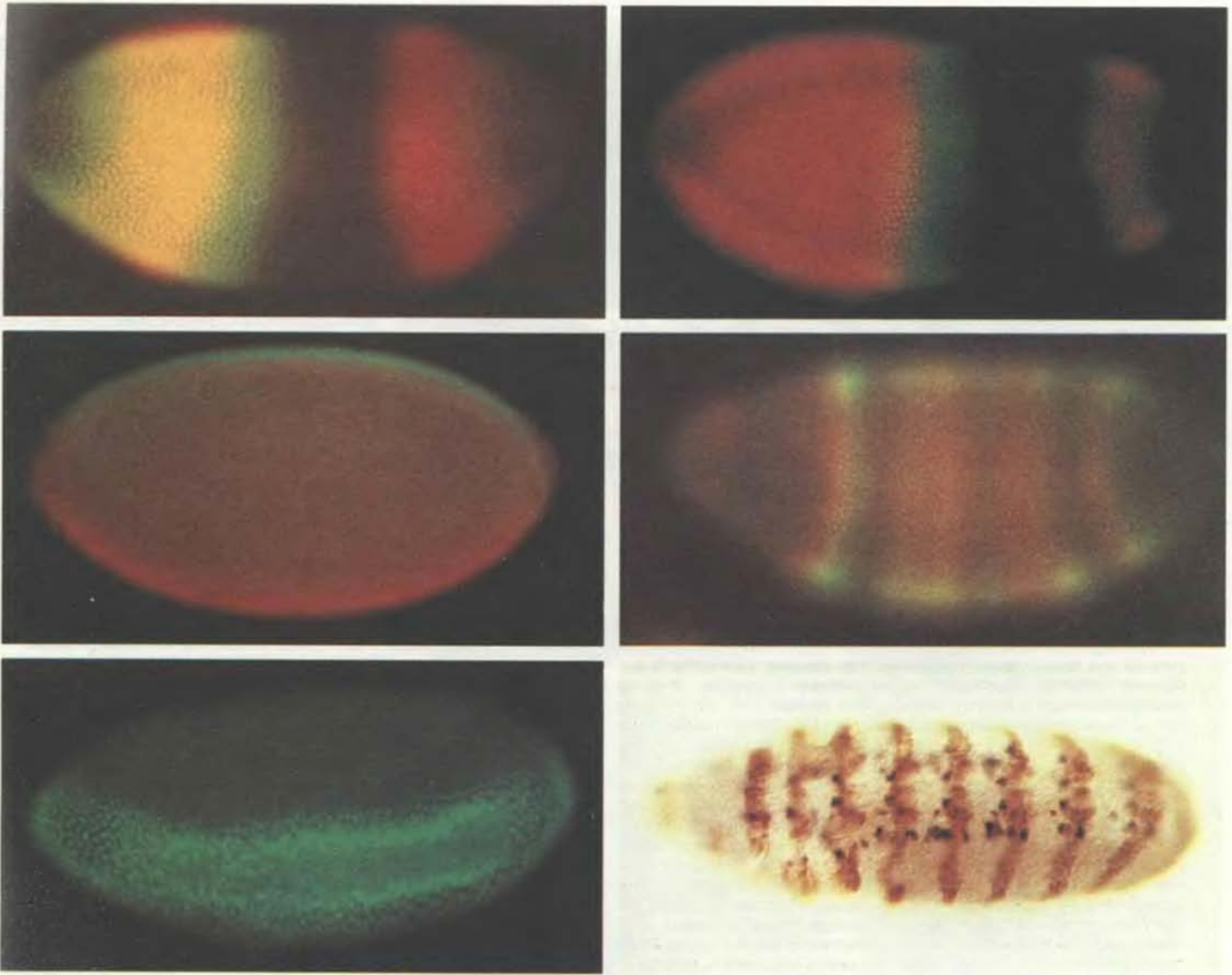
Эта идея оказалась на удивление верной. За прошедшие с тех пор годы у *E. coli* выявлено множество систем регуляции генной активности, и большинство их представляет собой вариации первоначальной схемы Жакоба и Моно. Многие такие системы управляют работой генов, кодирующих ферменты, которые участвуют в метаболизме каких-либо питательных веществ — расщеплении доступных соединений или синтезе тех, что являются для данного организма лимитирующими. В каждом случае действуют регуляторные белки, связывающиеся с ДНК: такой белок присоединяется к определенному участку бактериальной ДНК, где репрессирует или же стимулирует транскрипцию, как правило, близлежащего гена.

Сколь успешно ДНК-связывающий белок стимулирует или подавляет транскрипцию, зависит от того, как много таких белковых молекул имеется в клетке, а на это, в свою очередь, может влиять масса факторов.



АКТИВАЦИЯ ТАНСИОННЫХ ГЕНОВ происходит в том случае, когда регуляторные белки — факторы транскрипции — связываются в должной комбинации с определенными участками ДНК, образуя уникальный комплекс.

Эти участки могут находиться в разных местах хромосомы, часто далеко от регулируемого гена. Каждый фактор привносит специфическую информацию — о стадии жизненного цикла, о пути дифференцировки клетки и т. д.



СПЕЦИФИЧЕСКОЕ ОКРАШИВАНИЕ демонстрирует избирательную активацию генов в различных участках тела в ходе развития эмбриона *Drosophila*. Слева вверху: белок — продукт гена *hunchback* окрашен зеленым, гена *giant* — красным. Слева в середине: активности гена *dorsal* отвечает красный цвет, гена *zen* — зеленый. Слева внизу: зеленая область соответствует экспрессии гена *twist*. Справа вверху: продукт гена *hunchback* выявлен красным цветом,

гена *Krüppel* — зеленым. Справа в середине: об активности гена *even-skipped* свидетельствует зеленый цвет, гена *hairy* — красный (желтые участки — это зоны перекрывания). Справа внизу: в эмбрионе на более поздней стадии развития (перед формированием мускулатуры) область экспрессии гена *engrailed* имеет вид коричневых полос, гена *S59* — бордовых пятен.

Хотя некоторые системы регуляции транскрипции у бактерий чрезвычайно чувствительны, они похожи скорее на переключатели, а не на компьютеры. Что же касается сложных многоклеточных организмов, то генетический контроль здесь — дело совершенно иное и его механизмы соответственно сложнее.

За свою короткую жизнь бактериальная клетка может использовать большинство имеющихся у нее генов, оперативно включая и выключая их в ответ на изменяющиеся условия. А в типичной дифференцированной клетке многоклеточного организма функционирует лишь малая доля ее генов. Хотя изменений в генной активности у таких клеток должно быть меньше (так как многоклеточный организм

поддерживает свою внутреннюю среду относительно постоянной), проблема выбора генов, подлежащих включению, далеко не проста. Клетки сложного организма должны «знать», где они находятся, чтобы решить, какие из генов должны экспрессироваться. Кроме того, им нужно обладать способностью реагировать на «чрезвычайные ситуации», например на повреждение или внезапное поступление гормонов.

Так как жизненные потребности бактерий сильно отличаются от таковых большинства других организмов, собирательно называемых эукариотами (к которым относятся организмы, клетки которых имеют ядро), представлялось маловероятным, что в эукариотических механизмах регу-

ляции генной активности используются те же фундаментальные принципы, что и у бактерий. Однако оказалось, что белки, связывающиеся с ДНК, свойственны и эукариотическим клеткам. Как заметил биохимик Роберт Т. Н. Тьян из Калифорнийского университета в Беркли, «если бы десять лет назад биологу сказали, сколько генов кодируют ДНК-связывающие белки, он бы просто посмеялся».

Но когда началось изучение регуляции транскрипции у эукариот, очень скоро обнаружились ее новые, специфические черты. В 1982 г. Стивен Л. Макнайт и Роберт Кингсбери, в то время работавшие в Онкологическом центре Фреда Хатчинсона в Сиэтле, составили одну из первых генетиче-

ских карт, на которой было отмечено, какие участки ДНК вблизи того или иного гена влияют на его транскрипцию в эукариотической клетке. Эти исследователи использовали ген вируса герпеса, который может экспрессироваться в яйцеклетках лягушки *Xenopus laevis*. Вызывая мутации в окрестностях этого гена, они выявили несколько отдельных участков, которые должны оставаться интактными для того, чтобы его транскрипция протекала нормально. Один из них

располагался рядом с так называемым промотором очень близко от того места, с которого начинается транскрипция. Этого можно было ожидать, исходя из данных о регуляции генной активности у бактерий. А вот два других важнейших участка оказались, по молекулярным масштабам, весьма удаленными от генамишени: один находился на расстоянии 50, а другой — 100 нуклеотидных пар.

Тот факт, что белки влияют на

транскрипцию, находясь на столь значительном расстоянии от места ее осуществления, казался удивительным. Но и в таком случае «наилучшей» была гипотеза, предполагающая, что в этих участках белки связываются с ДНК», как сказал Макнайт. Догадка вскоре подтвердилась, когда Тянь выделил белок, который четко выразительно стимулировал транскрипцию определенного гена в эукариотических клетках, связываясь со специфической последовательностью

Новые уроки старой знакомой

Обыкновенная крошечная плодовая мушка *Drosophila* более 60 лет служит излюбленным объектом в генетике. А теперь благодаря ей делается важный вклад в биологию развития. За последнее десятилетие сложилась довольно полная картина взаимодействия генов в ходе раннего эмбрионального развития *Drosophila*.

Тело взрослой мухи подразделяется на 17 сегментов: некоторые из них несут такие придатки, как крылья или ноги. В эмбрионе клетки выглядят одинаковыми, однако, будучи пересаженными в другое место, дают начало тем же структурам, которые образовались бы из них на своем месте. Это говорит о том, что уже на ранних стадиях развития клетки запрограммированы в соответствии со своей локализацией.

В раннем эмбрионе некий набор генов проявляется в присутствии распределенного полосами белка, который можно выявить путем специфического окрашивания. Эти полосы разделяют зародыш на сегменты. Процесс начинается, когда материнские питающие клетки секретуют внутрь оплодотворенной яйцеклетки РНК, образующуюся при транскрипции гена *bicoid*. Эта РНК скапливается на одной стороне яйцеклетки, где происходит ее трансляция — синтез белка, который медленно диффундирует по всей яйцеклетке. В это же время РНК, соответствующая другому материнскому гену, *nanos*, диффундирует в противоположном направлении.

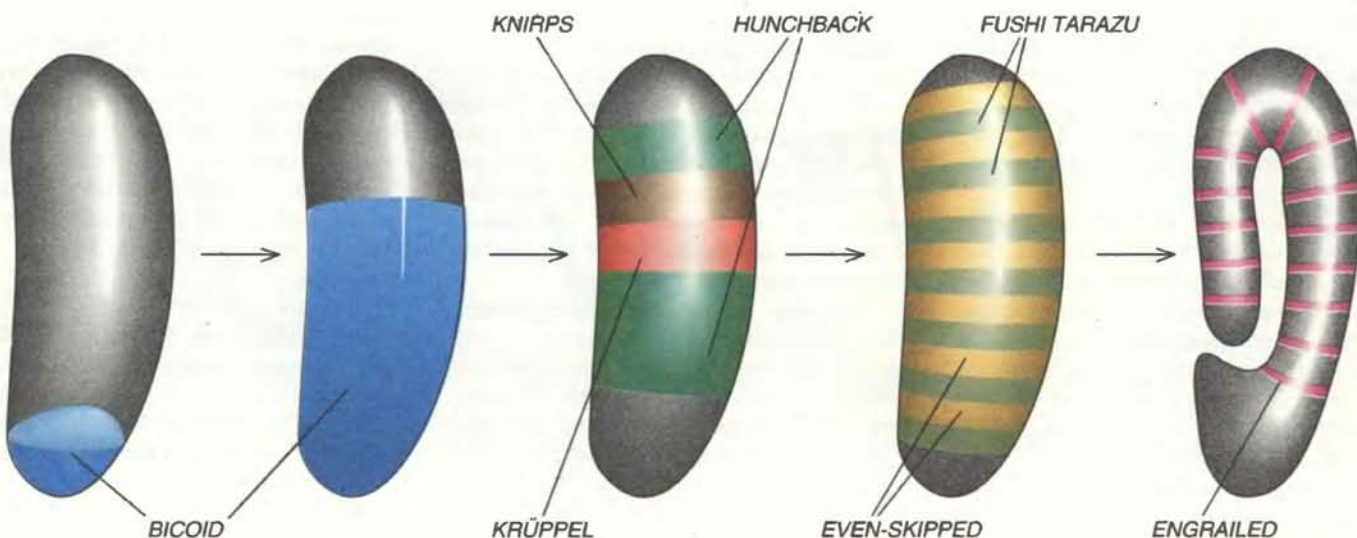
Путем активации и репрессии определенной комбинации генов белок — продукт гена *bicoid* стимулирует транскрипцию «промежуточных» генов — первых собственных генов эмбриона, участвующих в сегментации. Появляются четыре широкие полосы: две из них характеризуются присутствием белка, кодируемого геном *hunchback*, а между ними располагаются полосы продуктов генов *Krüppel* и *knirps*. Роль белка — продукта гена *bicoid* доказали Кристина Нюсслейн-Фольхард и Вольфганг Драйвер из Института биологии развития им. Макса Планка в Тюбингене: изменения в этом белке сказываются на экспрессии «промежуточных» генов.

«Промежуточные» гены уступают место семи перекрывающимся полосам экспрессии генов *even-skipped*, *hairy* и *runt*. Следом появляются семь полос белка — продукта гена *fushi tarazu*, перемежающиеся семью полосами активности *even-skipped*. Потом возникает 14 узких полос белка, кодируемого геном *engrailed*, каждая из которых, по-видимому, обладает собственной комбинацией активных генов. На эти комбинации отвечают другие гены, в большинстве своем пока неизвестные, благодаря которым образуются специализированные структуры, свойственные различным сегментам.

Тем временем иная иерархическая система генной активности подразделяет зародыш в дорсо-вентральном (спинно-брюшном) направлении, что существенно для формирования различных типов тканей. В этом процессе участвует градиент продукта гена *dorsal*, который действует наподобие *bicoid*. Затем в определенных участках вдоль дорсо-вентральной оси экспрессируются гены *twist* и *snail*.

Некоторые гены, управляющие развитием, препятствуют активности друг друга; другие же, наоборот, действуют совместно. Многие гены саморегулируются: активное состояние такого гена, раз возникнув, поддерживается его собственным продуктом до тех пор, пока что-либо ему не помешает. Наконец, некоторые гены, как *even-skipped*, в разное время выполняют различные функции, подобно тому, как один и тот же актер в ходе пьесы может появляться на сцене в разных ролях.

Некоторые исследователи, изучающие другие организмы, отмечают, что *Drosophila* нетипична, поскольку у нее клеточные стенки образуются поздно, позволяя формироваться концентрационным градиентам белков. На это Нюсслейн-Фольхард возражает, что клетки могут создавать аналоги белковых градиентов, если различаются по восприимчивости к сигналу. «Я абсолютно уверена, что градиенты работают и у более сложных животных», — говорит она.



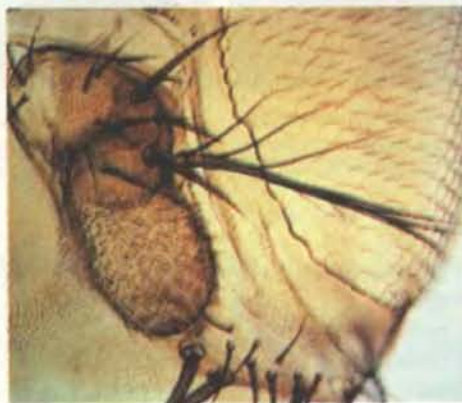
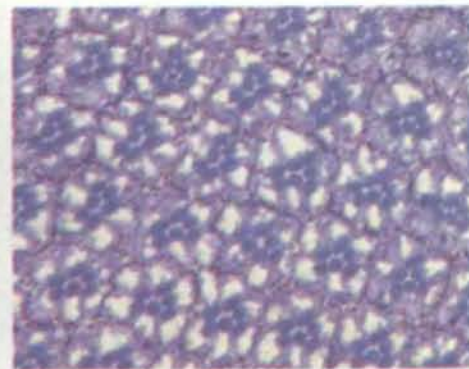
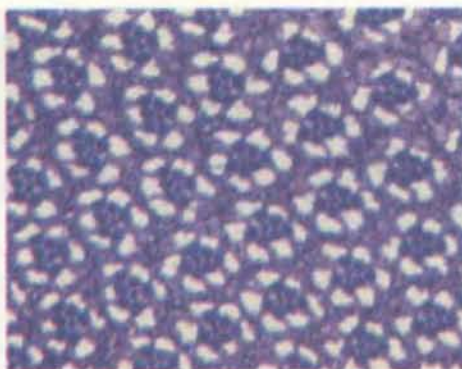
ДНК. Этот белок связывался в пяти различных местах вблизи данного вирусного гена. «Как выяснилось впоследствии, такая картина характерна для всех эукариотических генов», — говорит Макнайт.

В отличие от бактерий у эукариот ДНК-связывающие белки нередко управляют транскрипцией «издали». Так, идентифицированы транскрипционные факторы, которые связываются на расстоянии 40 тыс. нуклеотидных пар от гена-мишени и тем не менее способны стимулировать (или подавлять) транскрипцию. Эукариотические транскрипционные факторы отличаются от бактериальных ДНК-связывающих белков еще и тем, что их точное положение, по-видимому, несущественно; они могут находиться по любую сторону от промотора или даже быть присоединенными задом наперед.

Недавно Барбара Р. Хау-Эванс и другие исследователи совместно с Дейвидсоном изучали ген, кодирующий белок актин, в клетках морского ежа *Strongylocentrotus purpuratus*. В окрестности этого гена было выявлено не менее 20 участков ДНК, узнаваемых регуляторными белками. Дейвидсон и его коллеги продемонстрировали, что для транскрипции гена актина необходимо, чтобы регуляторные белки были связаны по меньшей мере с пятью из этих участков. Они нашли также два других участка, связывание с которыми регуляторных белков предотвращает транскрипцию данного гена.

Согласно Дейвидсону, в среднем на каждый ген многоклеточного организма приходится, вероятно, не менее пяти регуляторных участков. По всей видимости, у сложных организмов, кроме того, для «включения» большинства генов должны быть собраны белковые «бортовые компьютеры». «Мы пришли к выводу, что у эукариотического промотора должно быть много точек управления», — говорит Тьян. У бактерий же самый сложный из изученных на сегодняшний день генетических переключателей-регуляторов, который контролирует размножение бактериального вируса (описан Марком Пташне с сотрудниками из Гарвардского университета), имеет только три близко расположенных участка связывания регуляторных белков в точках начала транскрипции.

Помимо прочих своих особенностей эукариотические факторы транскрипции менее «разборчивы», чем бактериальные, в отношении своих участков связывания с ДНК. Для Макнайта и других исследователей, изучавших регуляцию генов, это выглядело головоломкой. Как отметил



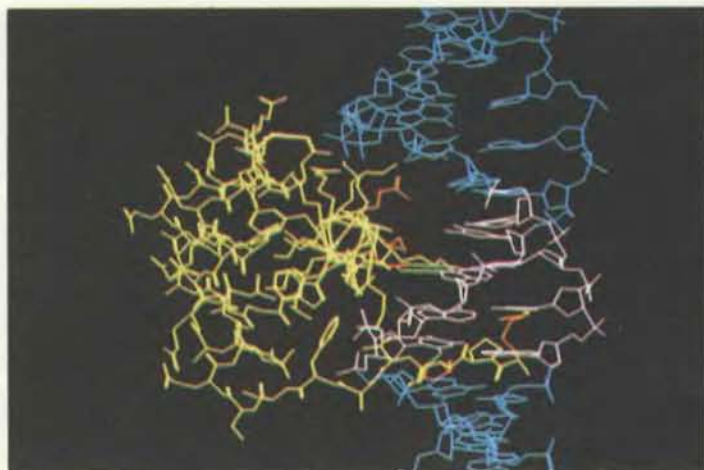
АНОМАЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ — следствие мутаций в генах, регулирующих индивидуальное развитие. *Вверху: глаз Drosophila; слева — нормальный, справа — при мутации в гене sevenless в каждой группе фоторецепторов отсутствует седьмая клетка. В середине: введение Drosophila мышиного гена, содержащего гомеобокс, вызвало развитие ног (справа) там, где у нормальной мухи (слева) имеются антенны. Внизу: новорожденные мышата; слева — нормальный, справа — в результате мутации в гене, содержащем гомеобокс, развитие искажено.*

Макнайт, в эукариотическом ядре больше генов и они находятся в большем объеме, но тем не менее специфичность белков меньше — они, должно быть, «сговариваются» между собой.

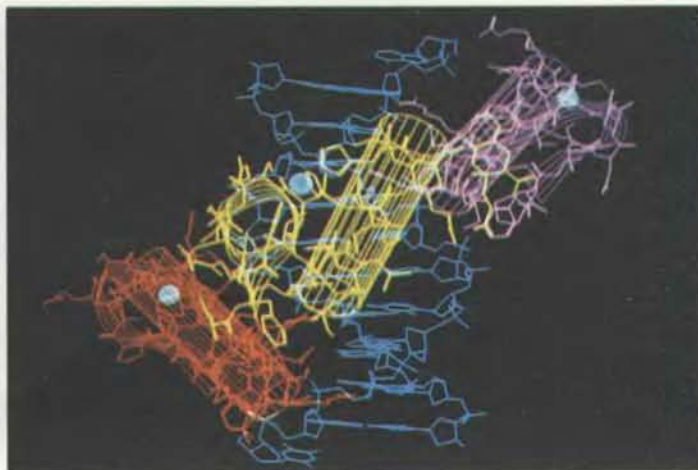
Другими словами, Макнайт предположил, что, если у эукариот специфичность связывания транскрипционных факторов с ДНК невелика, этот недостаток может компенсироваться тем, что их действия объединяются. А единственный способ «сговориться» для группы белков,

расположенных на значительном расстоянии друг от друга вдоль цепи ДНК, — это собраться вместе в один большой комплекс. Идея показалась правдоподобной, поскольку ДНК, будучи достаточно гибкой, в промежутках между участками связывания белков может легко образовывать петли.

Сейчас это уже твердо установлено. Так, Тьян получил электронные микрофотографии выделенных и реконструированных транскрипционных комплексов, на которых были



КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ связывания транскрипционных факторов с ДНК. Слева: с ДНК (изображена голубым и сиреневым цветами) связывается белок, содержащий го-



меодомен (желтый). Справа: с ДНК (голубая) взаимодействует белок со структурой типа «цинковые пальцы» (красный, желтый и лиловый цвета).

видны такие петли. Он выявил как минимум пять белков, постоянное присутствие которых в комплексе необходимо для его функционирования.

Однако чтобы обеспечить нормальную регулируемую транскрипцию, одних этих обязательных белков недостаточно. Они еще должны быть активированы комплексом, образованным транскрипционными факторами, связывающимися в окрестностях данного гена. Лишь когда в наличии имеются все компоненты: обязательные белки, фермент транскрипции, называемый РНК-полимеразой, и правильная комбинация специфических транскрипционных факторов — «умный» ген становится способным к управляемой транскрипции.

В настоящее время известно несколько сотен различных факторов транскрипции. Примерно две трети их по своей молекулярной структуре могут быть отнесены к какому-либо из хорошо известных классов: спираль—складка—спираль, цинковые пальцы, лейциновая застежка-молния, спираль—петля—спираль. Остальные, видимо, уникальны, причем некоторые из них еще и тканеспецифичны.

Обобщения — вещь опасная. Однако изощренные эксперименты, осуществленные Пташне и Кевином Струлем в Гарвардском университете, в которых клетки производили гибридные факторы транскрипции, говорят о том, что у этих белков есть по крайней мере два отдельных участка: один узнает специфические последовательности ДНК и связывается с ними, другой же, вероятно, определяет активирующее действие фактора.

В том, каким образом транскрипционный комплекс играет роль мозга «умного» гена, остается еще много

неясного. Судя по всему, для этого необходим некий «кворум» факторов транскрипции. Но чтобы представить себе взаимодействие 20 разных белков, исследователям предстоит еще немало работы. Пока же все вроде бы согласны в том, что одни транскрипционные факторы способствуют связыванию других с ДНК. В связи с этим Тьян считает, что выделенный им белок, который получил название коактиватора, может быть соединительным звеном между факторами транскрипции, узнающими определенные последовательности ДНК, с одной стороны, и комплексом РНК-полимеразы и ассоциированных с ней белков — с другой. Однако другие специалисты относятся к его предположению скептически. Пташне, например, заявил, что гипотеза Тьяна основана на неверном понимании функционирования транскрипционных факторов.

Смешанные сигналы

Несмотря на отсутствие детальной картины, почти нет сомнений, что именно транскрипционный комплекс определяет, когда будет происходить транскрипция данного гена. Это дает основу для объяснения того, что на «включение» или «выключение» гена могут влиять как внутриклеточные, так и внешние сигналы.

Если в клетке имеется должная для активации данного гена комбинация факторов транскрипции, то транскрипционный комплекс сформируется правильно и это инициирует транскрипцию «умного» гена. Дейвидсон отмечает, что таким путем может осуществляться обработка самых разных сигналов — например, информация о стадии цикла клеточного деления, о дифференцировке данной клетки, сигналы о ее взаимо-

действиях с другими клетками и т. д.

«Умные» гены позволяют также решить непростой теоретический вопрос: если для каждого гена в организме должен существовать свой белок-регулятор, то как, в свою очередь, будет регулироваться синтез каждого такого белка? Но коль скоро различные регуляторные белки могут взаимодействовать между собой, то для управления множеством генов может быть достаточно небольшого числа регуляторов.

Многие транскрипционные факторы являются димерами, т. е. белковая молекула состоит из двух связанных друг с другом субъединиц (см. статью: С. Макнайт, Молекулярные застежки-«молнии» и регуляция генов, «В мире науки», № 6, 1991). Благодаря этому они способны регулировать еще большее число генов: субъединицы могут быть разными, и тогда из малого числа типов субъединиц получается много различных димеров. Например, для четырех типов субъединиц А, В, С и D возможны десять различных димеров — АА, АВ, АС, АД, ВВ, ВС, ВД, СС, СД и DD.

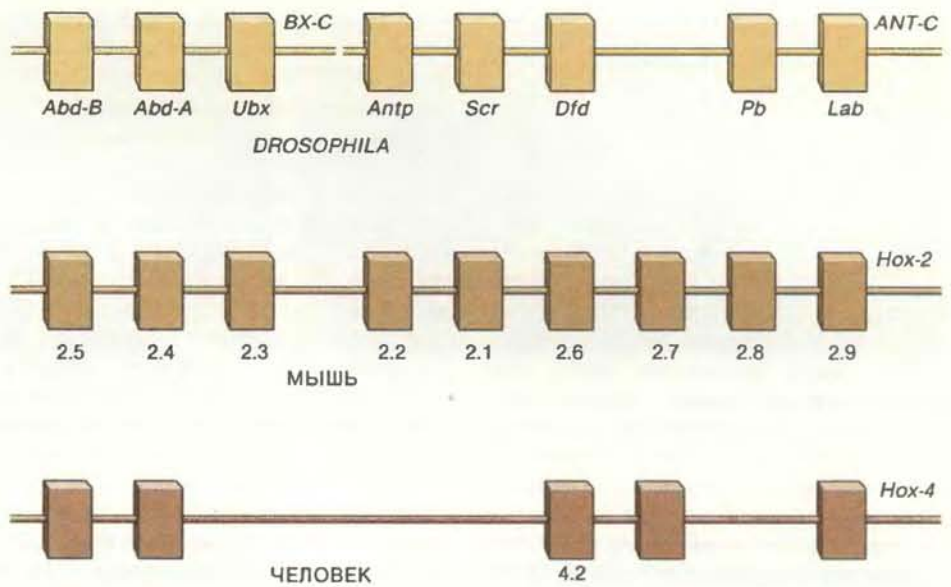
На вопрос, сколько генов могут регулироваться этими десятью димерами, ответить нельзя, не зная точно, как работают транскрипционные комплексы. По оценкам, число таких генов может быть порядка сотен, особенно если вся система до некоторой степени устойчива к ошибкам. Имеются кое-какие указания на то, что это так и есть. Многие клетки синтезируют в очень малых количествах ряд белков, по всей видимости не несущих никаких, по крайней мере заметных функций. Как предполагает Джеймс Э. Дарнелл из Рокфеллеровского университета, эти белки — результат безвредных неточностей в системе регуляции транскрипции.

Хотя в ранних работах для изучения эукариотических факторов транскрипции использовались одиночные гены, транскрипционный комплекс играет центральную роль и в более сложных системах. Возможности транскрипционного комплекса демонстрирует, например, работа Айры Гершковича и Александра Д. Джонсона из Калифорнийского университета в Сан-Франциско. Они экспериментировали с почкующимися дрожжами, которые, хотя и относятся к одноклеточным организмам, обладают ядром и эукариотическими хромосомами, а также, как и многоклеточные, имеют клетки различных типов.

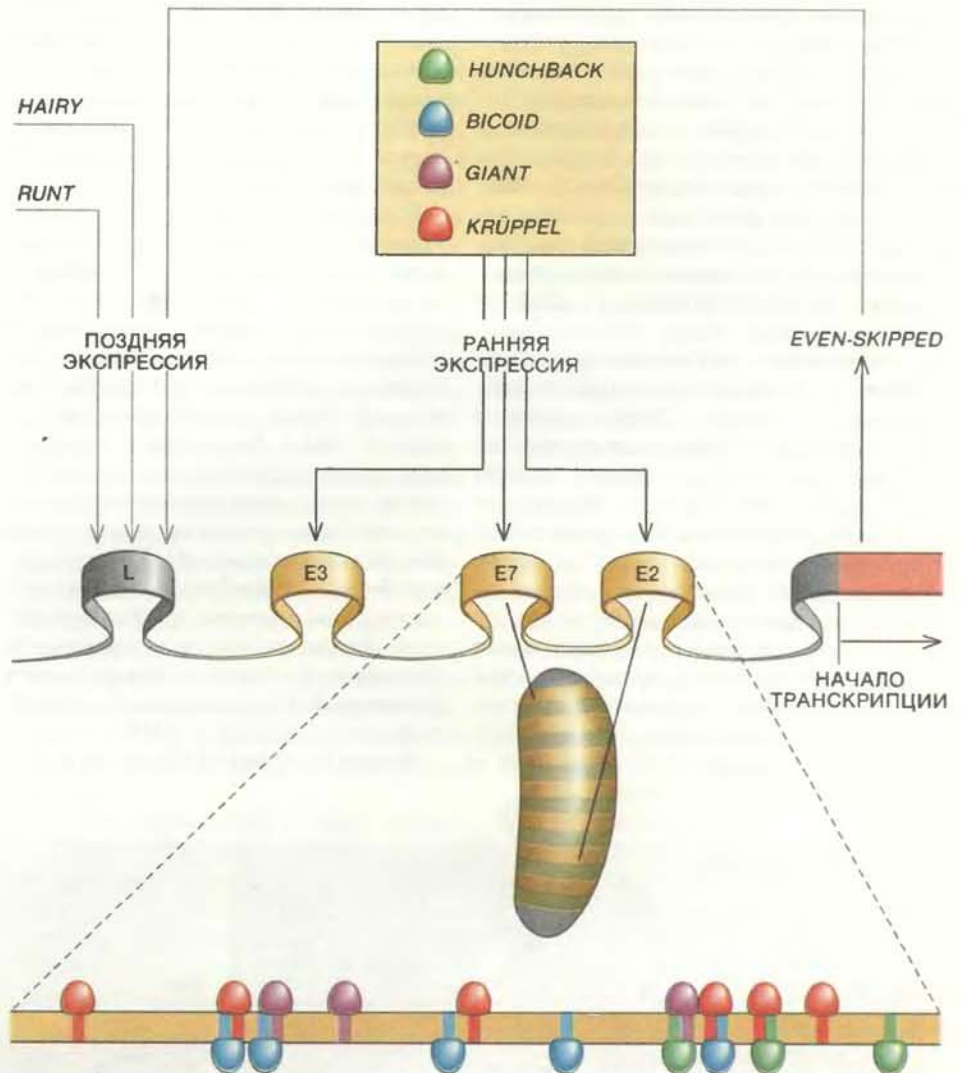
Один из типов дрожжевых клеток — вегетативные, которые размножаются почкованием: когда родительская клетка делится, образуются две совершенно идентичные дочерние клетки. Существуют также два типа половых клеток, которые появляются при неблагоприятных условиях внешней среды и должны спариваться друг с другом. Гершкович и Джонсон тщательно проследили генетические регуляторные механизмы, обуславливающие различия между клетками этих трех типов. Оказалось, что ключевым звеном в системе регуляции является транскрипционный фактор, управляющий теми генами, которые в клетках различных типов экспрессируются по-разному.

Схема регуляции проста и вместе с тем изящна. Ключевой транскрипционный фактор является димером, субъединицы которого могут быть одинаковыми либо разными. Когда он состоит из различных субъединиц, клетка становится вегетативной, поскольку такой белок репрессирует все гены, необходимые для формирования половых клеток. Если же субъединицы одинаковые, эти гены активируются.

Координация размножения дрожжевых клеток осуществляется с помощью феромонов. Эти гормоноподобные вещества оказывают свое действие, влияя опять же на транскрипцию определенных генов. Небольшой белок, секретируемый клеткой одного «пола», связывается со специальными рецепторами на поверхности клетки другого «пола». Комплекс феромона с рецептором инициирует каскад химических реакций внутри клетки, которые в конце концов приводят к активации некоего специализированного транскрипционного фактора, а тот, в свою очередь, «включает» гены, необходимые для спаривания. В целом в регуляцию своеобразной клеточной дифференцировки у дрожжей — образования клеток различных типов — так или иначе



ГОМЕОЗИСНЫЕ ГЕНЫ со сходными функциями у разных видов располагаются в хромосомах в одинаковом порядке, который соответствует локализации зон их активности в теле животного. Например, гены *Abd-B Drosophila* и *Hox 2.5* мыши активны на заднем конце эмбриона.



АКТИВАЦИЯ гена *even-skipped* у *Drosophila* осуществляется при обязательном участии ряда транскрипционных факторов, кодируемых другими генами. Области *E7* и *E2* (показаны с увеличением внизу), определяющие 7-ю и 2-ю полосы экспрессии *even-skipped* на ранних стадиях развития эмбриона, содержат участки связывания для белков — продуктов генов *hunchback*, *bicoid*, *giant* и *Krüppel*. На более поздних стадиях развития активность гена *even-skipped* (*L*) управляется белками, кодируемыми генами *hairy*, *runt* и самим *even-skipped*.

вовлечены не менее 13 генов, и большинство из них являются факторами транскрипции.

На арене появляется гомеобокс

Хотя в начале 80-х годов и стало ясно, что транскрипционные факторы у эукариот имеют большое значение, яркие примеры, которые могли бы показать их роль в процессах индивидуального развития, найти не удавалось. Было неизвестно, какие, собственно, генетические элементы — последовательности ДНК — нужно искать. Наконец, в 1983 г. сотрудники лаборатории Вальтера Дж. Геринга в Базельском университете и независимо от них Мэттью П. Скотт из Колорадского университета сделали решающее открытие.

Они изучали у плодовой мушки *Drosophila* группу генов, при мутациях в которых у взрослых мух наблюдаются аномальные структуры в сегментах тела. Самый известный ген этого типа — *Antennapedia*; нарушения в нем могут приводить к тому, что на месте антенн развиваются ноги. Эрнст Хафен, Майкл Левин и Уильям Макгиннис из Базельского университета, а также Скотт обнаружили, что несколько подобных генов, названных гомеозисными, содержат характерную последовательность ДНК, получившую название «гомеобокс».

Гомеобокс стал своего рода под-сказкой, явившись примером той последовательности ДНК, которую надо искать. Когда какая-то нуклеотидная последовательность в том или ином гене известна, обычно довольно легко отыскать в хромосомах похожие последовательности. Такой поиск имеет смысл, так как иногда мутации вызывают дубликацию генов, и, если дополнительная копия данного гена безвредна для организма, она может, постепенно эволюционируя в ряду поколений, приобрести со временем новую функцию, а

если вдобавок в этой новой роли ген окажется для организма полезным и важным, он сохранится и при появлении новых видов передастся им.

Гомеобокс или близкие аналоги этой последовательности вскоре обнаружили повсюду. Несколько копий нашлось у *Drosophila*, причем все они оказались в генах, существенных для развития организма. Кроме того, выяснилось, что порядок расположения генов, содержащих гомеобокс, в хромосоме соответствует порядку расположения зон активной работы этих генов вдоль переднезадней оси тела мухи, подобно тому как карта соответствует местности.

Вскоре Макгиннис и другие исследователи обнаружили подобные гомеобоксы последовательности ДНК и у иных организмов: жуков, червей, лягушек, кур, мышей и человека. У всех них порядок расположения генов в хромосоме очень консервативен, как и сама нуклеотидная последовательность гомеобокса. Это имеет место не только у животных — недавно даже специалисты были изумлены открытием гомеобокса (правда, несколько измененного) у растений, причем и здесь он имел отношение к регуляции развития.

Крайняя консервативность нуклеотидной последовательности гомеобокса на протяжении по крайней мере миллиарда лет эволюции позволяет предполагать, что он выполняет в организме какую-то жизненно необходимую функцию. Выяснить, что это за функция, удалось довольно быстро. В 1984 г. Аллен Логон заметил, что аминокислотная последовательность, кодируемая гомеобоксом, имеет некоторое сходство с участками как бактериальных ДНК-связывающих белков, так и белков, определяющих «пол» у дрожжей. Это натолкнуло Логона и Скотта на мысль, что гомеобокс кодирует в белках участок (названный гомеодоменом), способный к связыванию с ДНК.

Вскоре Патрик Г. О'Фаррелл из Ка-

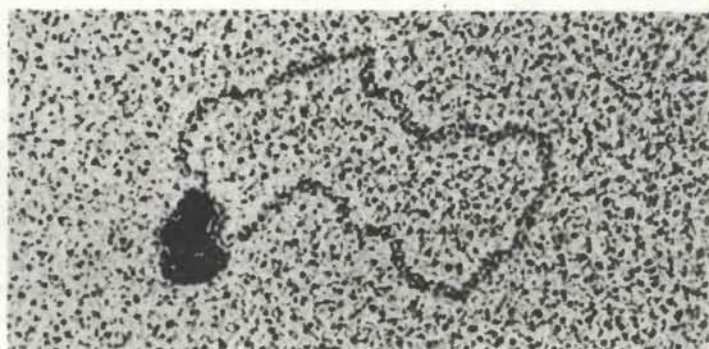
лифорнийского университета в Сан-Франциско и Клод Десплан из Рокфеллеровского университета получили данные, свидетельствующие о том, что белки, несущие гомеодомен, действительно связываются с ДНК. В 1988 г. О'Фаррелл поставил в этом вопросе точку, показав, что белки — продукты гомеозисного гена *fushi tarazu* (что по-японски значит «не хватает сегментов») *Drosophila* и еще одного гена, содержащего гомеобокс, — не только связываются с ДНК, но также активируют или репрессируют транскрипцию близлежащих генов. В том же направлении вели и результаты других исследований. Оказалось, что гомеозисные гены, которые были идентифицированы по их причастности к возникновению причудливых аномалий развития у *Drosophila*, кодируют транскрипционные факторы, управляющие работой генов многоклеточного организма.

Но одно дело — наблюдать какое-то явление «в пробирке», и совсем другое — показать, что оно действительно имеет место в природе. Недавно Макгиннис (ныне работающий в Йельском университете) и его коллега Майкл А. Кузиора получили данные, демонстрирующие важность гомеодомена в живом организме. Они заменили гомеобокс в одном из генов *Drosophila* на немного отличающийся гомеобокс из другого гена и добились экспрессии химерного гена. В результате у личинки головные сегменты оказались похожими на грудные. Этот факт можно объяснить тем, что введенный гомеобокс кодировал гомеодомен, связывающий свой специфический участок ДНК, отличный от того, который соответствовал гомеодомену, кодируемому собственным гомеобоксом данного гена.

Благодаря совершенствованию методов, позволяющих идентифицировать продукты различных генов, открылась поразительно сложная и запутанная иерархия генов, определяющих индивидуальное развитие и



ФАКТОРЫ ТРАНСКРИПЦИИ (темно-серые сферические структуры) связаны с концами нити ДНК (левая микрофо-



тография). В подходящих условиях эти белки собираются в комплекс, и тогда ДНК образует петлю (справа).



ГОЛОВАСТИК *Xenopus laevis*: слева — нормальный; справа — в результате инъекции РНК человеческого активина на ранней стадии развития ориентация осей тела наруше-

на. Введенная РНК обеспечила избыточный синтез активина, который влияет на гены, управляющие развитием.

план строения тела у *Drosophila* (см. текст и рисунок в рамке на с. 70). Многие из этих генов оказались гомеозисными. В первые часы после оплодотворения эта иерархическая система последовательно расчленяет эллипсоидальный зародыш в разных направлениях. Согласно модели Мартина Хьюльскампа и Дитхарда Тауца из Мюнхенского университета, кодируемые этими генами белки образуют концентрационные градиенты, которые, в свою очередь, «включают» или «выключают» другие гены.

«Умные» гены действительно как будто «сговариваются» между собой в ходе развития организма. Описанный процесс повторяется во все более мелких масштабах, ветвясь наподобие фрактала, и в результате в теле зародыша появляются полосы экспрессии различных белков. В каждой полосе складывается своя характерная комбинация активных генов, которые, по-видимому, и определяют, какие гены в каком сегменте взрослой мухи должны действовать.

В иерархии гомеозисных генов хорошо изучен ген *even-skipped*, получивший такое название потому, что у некоторых мутантов по этому гену отсутствуют четные сегменты тела. Этот пример — хорошая иллюстрация того, сколь непростой может быть «логика» действия «умного» гена. Белок — продукт гена *even-skipped*, сначала появляется в семи слабо разграниченных полосках, разделяющих зародыш вдоль продольной оси, которые со временем становятся более четкими. Мутации в этом гене нарушают работу гена *engrailed*, занимающего более низкое положение в иерархии, а на сам ген *even-skipped* влияют мутации в генах более высокого иерархического положения — *hunchback*, *Krüppel*, *giant* и *bicoid*.

Том Маниатис с коллегами в Гарвардском университете и Левин в Калифорнийском университете в Сан-Диего выявили несколько раз-

дельных участков ДНК, с которыми связываются регуляторные белки, регулирующие экспрессию гена *even-skipped*. Один из этих участков, от которого зависит раннее появление определенной полосы экспрессии гена *even-skipped*, имеет места связывания для белков — продуктов генов *bicoid*, *hunchback*, *Krüppel* и *giant*. Позднюю экспрессию гена *even-skipped* определяет другой набор белков, связывающихся с ДНК в иных участках. Детальное изучение этого вопроса еще только началось; по всей вероятности, для каждой из семи полос есть свой набор регуляторных белков.

У позвоночных известны гены, эквивалентные генам дрозофилы, и список таких генов растет с каждым днем. Продукт гена *dorsal* у *Drosophila* сходен с транскрипционным фактором «экстренного реагирования» млекопитающих, обозначаемым NF- κ B. Дарнелл с коллегами нашли транскрипционный фактор, специфичный для печени, который напоминает продукт известного гомеозисного гена *Drosophila fork-head*, который экспрессируется в клетках — предшественниках пищеварительного тракта и некоторых внутренних органов; из этих клеток у *Drosophila* развивается так называемое жировое тело, являющееся эквивалентом печени.

За последние годы в ряде смелых экспериментов было проверено, отражается ли сходство последовательностей в подобии функций. Для этого осуществляли межвидовый перенос генов, играющих роль в развитии организма. Макгиннис и его коллеги ввели *Drosophila* мышинный ген, эквивалентный гену *Antennapedia*, и заставили его избыточно экспрессироваться. В результате у мух оказался дефект, практически идентичный тому, который получается при избыточной экспрессии самого гена *Antennapedia*: на месте антенн у них развились ноги (см. иллюстрацию на

с. 71). Макгиннису также удалось ввести *Drosophila* человеческий гомеозисный ген, аналогичный одному из гомеозисных генов насекомых. Избыточная экспрессия человеческого гена у мух приводила к таким же нарушениям формы головы, какие бывают при избыточной экспрессии соответствующего собственного гена.

Недавно Осаму Тисака и Марио Р. Капекки из Университета шт. Юта получили прямое доказательство роли гомеозисных генов у млекопитающих. Они повредили один из таких генов мыши и получили мышинные эмбрионы, несущие только поврежденную копию этого гена. В результате мышата жили всего несколько часов: у них наблюдались катастрофические аномалии сердца и глотки, отсутствовали некоторые железы. Эти дефекты имеют тесный параллелизм с одним из редких заболеваний человека — синдромом Ди Джордж.

Однако, чтобы от таких данных перейти к лечению пороков развития у человека, предстоит еще огромная работа. По словам Маниатиса, в отношении генов млекопитающих, действующих на самых ранних стадиях развития, мы пока блуждаем в потемках. То же можно сказать и о большинстве генов на другом «конце» иерархии, определяющих специфику каждой ткани.

Одно из исключений — изученный Гарольдом Вайнтраубом из Онкологического центра Фреда Хатчинсона ген млекопитающих под названием *MyoD*, являющийся мощным транскрипционным фактором, который «в одиночку» может превращать клетку в мышечную. Неудивительно, что недавно обнаруженный Маниатисом с сотрудниками ген *nautilus* у *Drosophila*, сходный с *MyoD* по нуклеотидной последовательности, экспрессируется в клетках, которые должны стать мышцами.

Тот факт, что так много генов,

играющих ключевую роль в развитии организма, являются транскрипционными факторами, говорит о важности регуляции на уровне транскрипции. Но есть и другие весьма важные для индивидуального развития гены, которые влияют на транскрипцию непрямым образом.

Например, в прошлом году Эндрю П. Макмаон из Института молекулярной биологии Роша и Аллан Брэдли из Медицинского колледжа Бэйлора взяли на себя задачу, какую роль в развитии нервной системы млекопитающих играет ген, известный у мыши под названием *Wnt-1*, который сходен с геном *wingless* у *Drosophila*. Они получили мышинные эмбрионы, у которых оба гена *Wnt-1* были дефектны, и обнаружили, что у них отсутствует значительная часть мозга. Ген *Wnt-1* не кодирует никакой транскрипционный фактор; вероятнее всего, его продуктом является какой-то секретлируемый белок, влияющий на транскрипцию генов в соседних клетках.

Некоторые внеклеточные сигналы, на которые реагируют «умные» гены, хорошо изучены. Так, установлено, что стероидные гормоны и витамин D, поступившие к клетке извне, путем диффузии проникают в ядро, где они связываются со специфическими рецепторами, образуя активные транскрипционные факторы. Но о многих других жизненно важных сигнальных молекулах почти ничего не известно. К ним, в частности, относятся вещества, обычно объединяемые под общим названием «пептидные факторы роста», и так называемые молекулы адгезии клеток (CAM — от англ. cell adhesion molecules). Эти сигнальные молекулы связываются с рецепторами на поверхности клеток, а рецепторы, в свою очередь, каким-то образом посылают информацию в ядро. По мнению Дарнелла, в скором времени изучение влияния межклеточной коммуникации на транскрипцию станет массовым направлением исследований.

Джералд М. Рубин из Калифорнийского университета в Беркли изучает, каким образом на судьбу фоторецепторных клеток у *Drosophila* влияют взаимодействие внутренних и внешних факторов — генетического предопределения дифференцировки клеток и диффундирующих межклеточных сигналов. Обычно эти клетки образуют группы по восемь, а у мутантов по гену *sevenless* седьмой член группы отсутствует. Рубин полагает, что этот ген кодирует рецептор, который должен передавать в седьмую клетку от ее соседей сигнал, направляющий ее дифференцировку; если

ген *sevenless* дефектен, сигнал не может быть воспринят.

Эмбриолог Х. Роберт Горвиц из Массачусетского технологического института утверждает: «Молекулы, участвующие в клеточной сигнализации у примитивных животных, функционируют также у более высокоорганизованных». Недавно он подкрепил это, показав, что ген, обозначаемый *let-60*, является одним из нескольких переклочателей в процессе развития шести клеток — предшественников вульвы у микроскопического червя *Caenorhabditis elegans*.

Параллели с раком

Ген *let-60*, который, как и ген *sevenless* у *Drosophila*, кодирует некое звено в системе передачи сигнала, похож на человеческий онкоген, т. е. ген, способный вызывать рак. В самом деле, вовсе неудивительно, что многие онкогены оказались мутантными формами генов, играющих ту или иную роль в индивидуальном развитии. Немало онкогенов кодирует транскрипционные факторы или другие молекулы, участвующие в передаче регуляторных сигналов, влияющих на экспрессию генов. Так, открытый Макмаоном и Брэдли ген *Wnt-1* мыши тоже имеет онкогенную форму, равно как и два ключевых транскрипционных фактора «раннего ответа» у млекопитающих — *fos* и *jun*, которые, по-видимому, активируются всякий раз, когда клетка отвечает на пептидный фактор роста.

Фактов взаимосвязи между генами, управляющими транскрипцией, и веществами, участвующими в возникновении рака, обнаруживается все больше и больше. Дуглас А. Мелтон из Гарвардского университета показал, что у *Xenopus* гены, содержащие гомеобокс, «включаются» фактором роста, называемым активин. Возможно, в развивающемся организме именно по градиенту активности клетки «узнают», где они находятся: при изменении уровня активности в эмбрионе получались поразительные искажения оси тела (см. иллюстрацию на с. 75). Активин же очень похож на фактор роста, способный превращать некоторые клетки в раковые.

У млекопитающих и птиц роль, подобную активину у *Xenopus*, играет ретиноевая кислота. В прошлом году были получены данные, что мутантный рецептор ретиноевой кислоты вызывает одну из форм лейкоза.

С появлением «на сцене» транскрипционных факторов лишились первых ролей те исследователи, которые в начале 80-х годов готовы были побиться об заклад, что ключом к ре-

гуляции генов являются белки гистоны, присутствующие в большом количестве в клеточном ядре у эукариот. Когда ДНК не подвергается транскрипции, она оплетает молекулы гистонов, образуя частицы, называемые нуклеосомами (в этом упакованном состоянии ДНК называют хроматином). Сторонники этой точки зрения мало чего достигли, как отмечает Доналд Браун из отделения эмбриологии Вашингтонского института Карнеги в Балтиморе (шт. Мэриленд). Браун, который сам изучал гистоны в начале 80-х, жалуется, что для тех, кто занимается транскрипционными факторами, хроматин как будто не существует. Иллюстрацией тому служат взгляды Пташне, который считает, что нуклеосомы, конечно, представляют неспецифический барьер для транскрипции, но вряд ли из-за этого стоит значительно изменять модели генетической регуляции на базе транскрипционных комплексов.

И все же результаты ряда проведенных недавно экспериментов свидетельствуют о более активной роли гистонов. Джеймс Т. Кадонага из Калифорнийского университета в Сан-Диего, изучавший конкуренцию транскрипционных факторов с гистонами за связывание с ДНК, предсказывает, что сложившийся взгляд на то, как «включается» ген, скоро круто изменится. Другие исследователи тоже начинают склоняться к этой точке зрения. Роберт Э. Кингстон с сотрудниками в Массачусетской больнице общего типа показали, что некоторые транскрипционные факторы конкурируют с гистонами лучше других. Если это так, гистоны, возможно, являются существенным компонентом «умных» генов. «Как и все прочие люди, ученые гоняются за модой, — говорит Эри Фельзенфельд из Национальных институтов здоровья. — Все бросаются на один борт корабля, а кто-то кричит, что зачерпнули воды».

В своей уверенности в том, что в 90-е годы гистоны привлекут больше внимания, Фельзенфельд не одинок. Как подчеркивает Тьян, модели на основе одних только транскрипционных комплексов очень многого не объясняют. «Что мешает транскрипционному фактору активировать все гены, находящиеся рядом с ним?» — спрашивает он. На этот счет намечаются кое-какие указания. Ребекка Келлам из Калифорнийского университета в Сан-Франциско и Пол Шедл из Принстонского университета показали, что у *Drosophila* определенные последовательности ДНК защищают участки хромосом от внешних влияний. Они предполагают, что эти

«изолирующие» последовательности могут влиять на упаковку ДНК в нуклеосомах. Дороти Тьюэн из Гарвардского университета первая обратила внимание на то, что такая изоляция может иметь обратную сторону: длинные промежутки ДНК, оставшиеся свободными, оказываются тем самым праймированными (т. е. помеченными), что подготавливает их к последующей транскрипции.

Как полагает Майкл Грюнштейн из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе, ДНК-связывающие транскрипционные факторы — это лишь часть картины. «Я считаю, что гистоны входят в состав транскрипционного аппарата», — настаивает он. Грюнштейн показал, что для нормальной регуляции транскрипции определенные части молекул гистонов должны быть интактными. По его мнению, транскрипция представляет собой двухступенчатый процесс. На первом этапе ДНК «распаковыва-

ется» из нуклеосом, и только на втором этапе вступают в игру специфические транскрипционные факторы.

По словам Фельзенфельда, с возмуждением интереса к гистонам начала складываться целостная картина. Однако, даже если в ближайшие годы станут понятными управление транскрипцией и механизмы деятельности «умных» генов, проблема регуляции генной активности останется далеко не исчерпанной, ведь транскрипция — не единственный ее уровень. Вслед за транскрипцией начинаются другие процессы — например, «редактирование» РНК, — которые наверняка усложняют общую картину и дают немалую почву для исследований на обозримое будущее. «Чем больше вы изучаете регуляторные области, тем тоньше и умнее предстает их организация», — говорит Макгиннис. — Будем надеяться, что нам хватит ума, чтобы описать их».

Наука и общество

Следы ведут в Карибский бассейн

ГИПОТЕЗА О ТОМ, что падение на Землю астероида диаметром около 10 км привело к исчезновению динозавров, поставила очевидный вопрос, который скептики не перестают задавать: а где же кратер? За прошедшие годы на роль искомого кратера было предложено много кандидатов, но все они были отвергнуты: либо их размеры не были достаточными, либо возраст не подходящим.

Один из отвергнутых — кратер, находящийся у побережья полуострова Юкатан в Мексике, — похоже, становится теперь главным претендентом. «На мой взгляд, это наилучший кандидат из тех, что мы имеем на сегодня», — говорит Уолтер Альварес из Калифорнийского университета в Беркли, который со своим отцом Луисом и выдвинул в 1980 г. астероидную гипотезу.

История открытия этого кратера такова. В 1981 г. два геолога из мексиканской национальной нефтяной компании Ретех, Глен Пенфилд и Антонио Камарго, пришли к выводу, что в районе прибрежного города Чикскулуб под слоем толщиной 1 км лежит кратер диаметром 180 км. Основанием для такого заключения послужили карты гравитационных и магнитных аномалий. О своем открытии исследователи доложили на геологической конференции в Хьюстоне.

Если бы предположение геологов

подтвердилось, кратер из района Чикскулуб был бы признан крупнейшим из обнаруженных до сих пор кратеров. Кроме того, его размеры удовлетворяют гипотезе Альваресов. Однако в первое время гипотеза о существовании этого кратера не нашла поддержки: вначале из-за отказа компании Ретех предоставить геологические данные, а затем из-за пожара, уничтожившего образцы пород, добытые при бурении в районе Чикскулуба.

Алан Хильдебранд, работавший в Аризонском университете, ничего не знал о кратере Чикскулуб, когда девять лет назад независимо пришел к выводу, что астероид-убийца упал где-то в Карибском регионе. Изучая образцы пород, отложенных на границе между меловым и третичным периодами, когда, как считается, вымерли динозавры и многие другие виды, Хильдебранд обнаружил, что эти породы испытали воздействие гигантской приливной волны.

Отсюда Хильдебранд сделал вывод, что удар астероида пришелся на Карибский регион. Но куда именно? Геологи выделили несколько «подозрительных» мест, но ни одно из них не удовлетворяло всем условиям. В марте 1990 г. Хильдебранд узнал о Чикскулубе от репортера Houston Chronicle, писавшего об этом открытии в 1981 г. Шестидесят пять миллионов лет назад это место скрывалось под водой, и удар астероида должен был вызвать разрушительную приливную волну.

Хильдебранд связался с Пенфилдом, и вскоре они разыскали некоторые образцы пород, полученные при бурении в районе Чикскулуба. Вместе с другими исследователями из Аризонского университета, включая Уильяма Бойнтон, они провели анализ образцов, который подтвердил первоначальное предположение Пенфилда.

По словам Бойнтон, из этих данных следует, что верхний предел для времени удара 67 млн лет, а нижний — 55 млн лет. Анализ радиоактивного распада в породах из кратера даст в ближайшем времени более точную цифру.

Тем временем накапливаются и другие свидетельства. В мае группа исследователей, руководимая Кевинном О. Поупом из калифорнийской компании Geo Eco Arc Research сообщила в журнале «Nature» о том, что им удалось обнаружить кольцо стоковых отверстий, отмечающих край части кратера, находящейся на суше. Как поясняет Поуп, стоковые отверстия были сформированы скорее всего подземными водами, просачивающимися через трещиноватую породу на периферии кратера.

Разумеется, есть ученые, на которых новые подтверждения астероидной гипотезы не производят впечатления. Один из них — Чарлз Оффисер из Дармутского колледжа, с самого начала активно выступавший против этой гипотезы. Когда его попросили прокомментировать находки на Юкатане, он отрезал: «Все это чепуха, и я не хочу больше говорить об этом».

По мнению же Поупа, свидетельства мощного удара на мел-третичной границе «собрано столько, что их невозможно игнорировать». Он признает, что ученым «следует быть осмотрительными», принимая заключение о том, что в районе Чикскулуба упал тот самый астероид. «Однако с каждым новым шагом, — добавляет он, — картина становится все яснее».



КОЛЬЦО стоковых отверстий отмечает край гигантского кратера, погребенного под осадками на полуострове Юкатан.

Цифровые солнечные часы



ЯН СТЮАРТ

БРАТУ Бенжамину нравилось работать на монашеский орден Евклида, и он свято верил в их кредо: *Salus per geometria* — спасение души через геометрию. Особого мастерства ему удалось достичь в создании фракталов. Вот и сейчас он занят своим любимым делом — рисует дерево жизни, переплетая его ветви сквозь золотую заглавную букву О. К каждой ветви дерева он добавляет по два таких же дерева меньших размеров. Подобно фракталам, подобно самой жизни, дерево ограничено по размеру, но безгранично по внутренней структуре.

Послышалось шарканье кожаных сандалий по каменному полу, и Бенжамин повернул голову, чтобы посмотреть, кто идет, «О Боже, — подумал он, — это брат Дэниел». Обычно Бенжамин старался избегать общества брата Дэниела, потому что тот всегда совал свой нос в чужие дела.

Но на этот раз Дэниел пришел, чтобы сообщить важное известие: «Аббат требует тебя к себе», — сказал он.

У Бенжамина задрожали руки, и ему пришлось отложить кисть, чтобы дерево жизни не приняло облик горящего куста. Вызов к аббату никогда не обещал ничего хорошего. Проходя по гулким коридорам монастыря, он отчаянно пытался припомнить свои возможные прегрешения или ошибки, случайно сделанные в вычислениях.

У двери аббата он на мгновение остановился, а затем, выпрямившись и собравшись с духом, постучал в дубовую дверь. Но когда он услышал тонкий пронзительный голос аббата, повелевавший ему войти, сердце у него ушло в пятки.

— Брат Бенжамин, я должен выразить свое крайнее неудовольствие.

— Мой господин аббат, если я совершил какую-то ошибку, то...

— Да нет же, брат Бенжамин, я

просто хочу, чтобы вы дали мне хороший совет по вопросу, который вызывает во мне чувство неудовлетворения. Я слышал, что вы довольно хорошо знакомы с механизмами.

Бенжамин подумал: «Только бы аббат не попросил меня опять отремонтировать его портативный сборник церковных гимнов.» Аббат очень любил покупать, а потом ломать самые современные устройства. Молитвы монаха были услышаны.

— Вы, возможно, помните, — сказал аббат, — что в нашем монастыре недавно заменили все оконные жалюзи. Я ничего не могу понять. У старых жалюзи я еще утром мог подобрать угол наклона планок, чтобы в комнату поступало достаточное количество света и я мог читать, и после этого их не нужно было подправлять до вечера. А теперь я вынужден возиться с этими планками почти каждый час, чтобы поддерживать постоянный уровень освещения. В чем дело?

Бенжамин подошел к окну. Планки у новых жалюзи, как он заметил, были вертикальными, в то время как у старых они были горизонтальными. Аббат купил их у продавца, расхваливавшего свой товар, говоря, что на вертикальных планках оседает гораздо меньше пыли. Бенжамин повозился со шнурами, регулирующими угол поворота планок, устанавливая их так и сяк. Комната погрузилась почти в полную темноту, затем на противоположную стену упал луч света, потом снова стало темно.

Бенжамин теперь понял в чем дело, но как тактично сказать аббату о том, что это вследствие вертикального расположения планок?

— Глупости. Планки есть планки. Повернешь в одну сторону — они не пропускают света, повернешь в другую — пропускают.

— Это так, господин аббат. Но солнце — движущийся источник света, и этот факт оказывает весьма существенное влияние на э... геометрию.

Это было удачное слово: как всякий добрый последователь Евклида аббат любил, когда его употребляют.

— Планки представляют собой близко расположенные друг к другу вертикальные плоскости. Когда световой источник выровнен с этими плоскостями — то есть когда параллельны им, — то большая часть света, падающего на жалюзи, проходит внутрь. Если планки бесконечно тонкие, то проходит почти весь свет — отраженная часть бесконечно мала.

Аббат кивнул, но на его лице появилось выражение нетерпения, поэтому брат Бенжамин поспешил объяснить:



ЦИФРОВЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ ЧАСЫ во дворе монастыря ордена Евклида.

— Если же падающий свет встречается с планками под углом, то существенная часть его блокируется. Чем больше угол между лучами и планками, тем меньше света пропускают жалюзи.

— Брат Бенжамин, вы все это прекрасно и точно описали, но я все же не могу взять в толк, каким образом это помогает понять различие между горизонтальными и вертикальными жалюзи.

— Господин аббат, если вы хотите поддерживать освещенность на одном и том же уровне, то угол между лучами и планками должен меняться как можно меньше. В данном случае в роли источника света выступает солнце, которое перемещается по небосводу в течение дня. А поскольку наш монастырь находится в северных широтах, то угловые вариации солнца по высоте значительно меньше по сравнению с его горизонтальным перемещением с востока на запад. Поэтому если установить планки в среднее, компромиссное, положение, то ранним утром и поздним вечером будет немного темновато, а в полдень немного ярковато, но в целом приемлемо на весь день. С другой стороны, вертикальные жалюзи приходится подправлять каждые несколько часов, чтобы следовать за перемещением солнца (см. рисунок справа).

Аббат кивнул, но затем тут же нахмурился. Ведь это он заказал установить новые жалюзи.

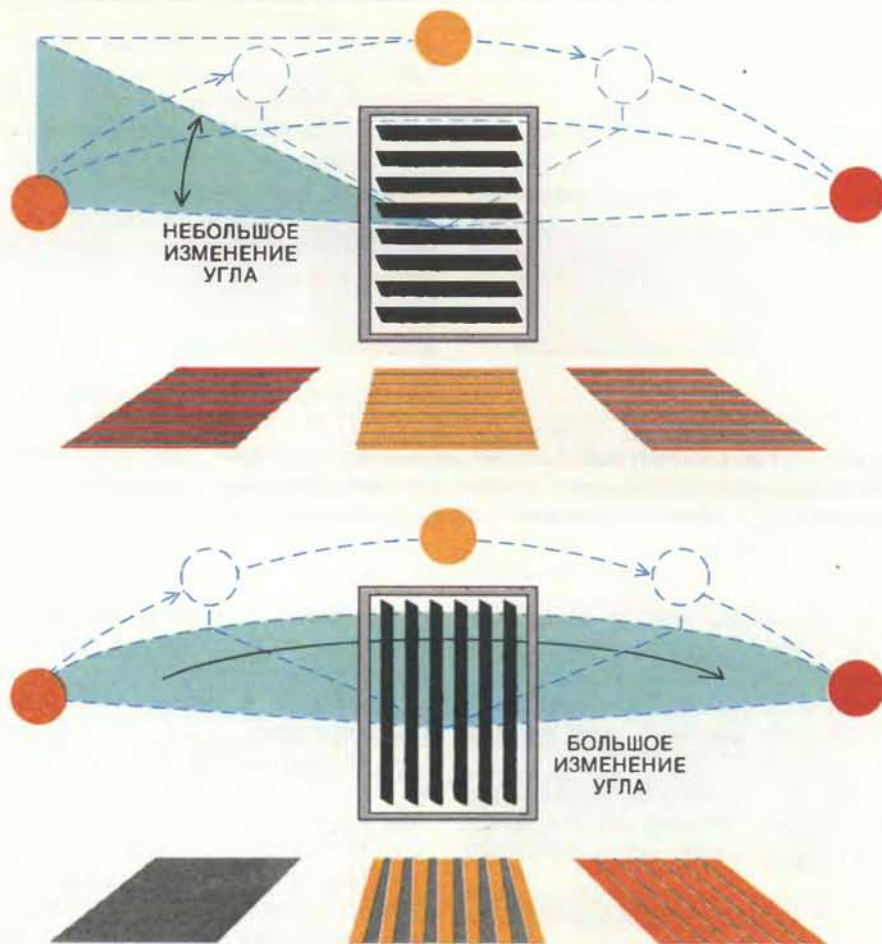
— Если мне позволено будет заметить, — быстро добавил Бенжамин, — это маленькое неудобство вполне компенсируется заметным отсутствием пыли на ставнях. А благодаря более частому регулированию планок стряхивается та пыль, которая все же может прилипнуть к планкам из-за статического электричества.

— Очень хорошо, брат Бенжамин. Начиная с завтрашнего дня, вы можете читать утренние молитвы. И поскольку вы так хорошо проявили себя в последнее время, то, может быть, дадите совет еще по одному важному вопросу. Речь идет о монастырских солнечных часах.

То древнее устройство, построенное лет пятьсот назад, на прошлой неделе рухнуло, и теперь на нем мирно сидела стайка голубей.

— Я мог бы построить новые часы, господин, — охотно предложил Бенжамин. — Конструкция будет основана на тех же геометрических свойствах движения солнца в сочетании с геометрией земного движения.

— Гм, пожалуй, нет, — сказал аббат. Он засучил рукава своей рясы, обнажив дорогие золотые часы. — Я



ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ЖАЛЮЗИ реже нуждаются в регулировке по сравнению с вертикальными, поскольку угол солнечных лучей по широте меняется меньше, чем по азимуту.

имею в виду нечто вроде этого.

— Можно украсить циферблат солнечных часов золотым листом, мой господин.

— Нет. Я имел в виду не красоту. Посмотрите-ка внимательно на циферблат.

— А, это цифровые часы.

— Вот именно. Я полагаю, что будет более в духе современности, если у нашего монастыря будут солнечные часы с цифровым циферблатом.

— Господин аббат, на окружности солнечных часов нетрудно будет вырезать угловые деления, снабдив их цифрами, которые так милы сердцу конструктора цифровых часов.

— Нет, брат Бенжамин, вы никак не возьмете в толк, в чем состоит мой замысел. Давайте-ка я продемонстрирую вам свою идею с помощью этого кольца. Видите, когда я держу его против света, оно отбрасывает тень на столе.

— Да, мой господин.

— И какой формы эта тень?

— Круглой, мой господин, как само кольцо.

— Действительно. Ну а если я поверну кольцо ободком к свету, вот так?

— Прямая линия, мой господин.

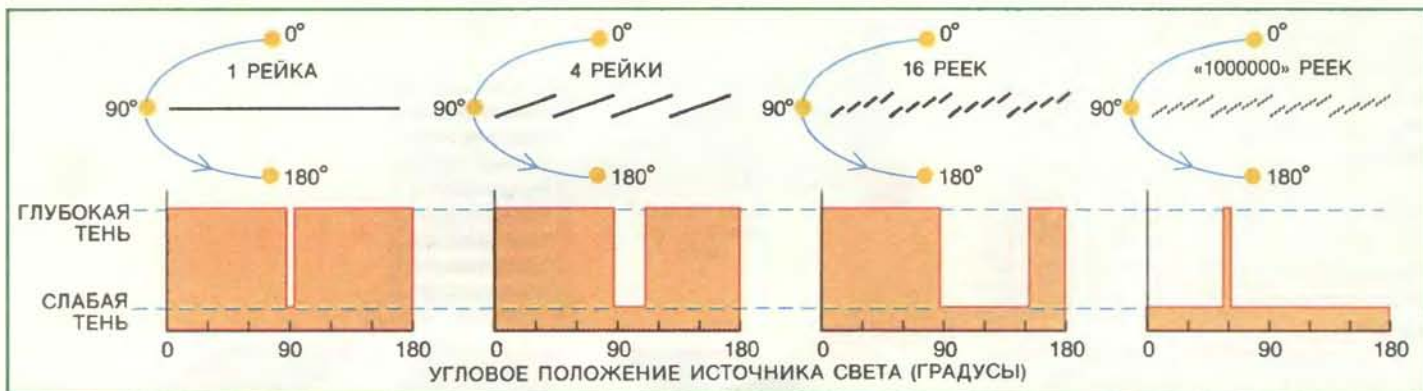
— Вот именно! А не напоминают ли вам что-нибудь эти две формы?

— Цифры 0 и 1, мой господин.

— Отлично! Да, кольцо отбрасывает тень, которая при освещении его под одним углом похожа на цифру 0, а под другим углом — на цифру 1. Так вот, я имею в виду объект, тень от которого изменяется при перемещении



ТРИ РАЗЛИЧНЫЕ ТЕНИ одного и того же предмета.



ПРИНЦИП ЖАЛЮЗИ: рейку можно разбивать на все более мелкие фрагменты, так чтобы она отбрасывала тень только в одном направлении. Вверху показано, ка-

кие тени отбрасывают рейки жалюзи по мере того, как относительно них перемещается источник света.

солнца и каждую минуту принимает форму цифр, соответствующих показаниям часов в данный момент.

— Вы имеете в виду, что в двадцать три минуты восьмого тень должна выглядеть как 7:23?

— Да. И тень должна соответствовать точному времени каждую минуту на протяжении всего светового дня.

— Это будет очень трудно, мой господин.

— Я уверен, брат Бенжамин, что вы справитесь с задачей — во всяком случае, я надеюсь. Ну а сейчас я должен заняться более неотложными делами. Можете идти.

Этим же вечером Бенжамин подумал о системе из стеклянных пластинок с выгравированными символами. Пластины должны высказывать из ящика каждую минуту и, отбрасывая соответствующую тень, показывать точное время. Выслушав его идею, аббат отверг ее, проворчав, что цифровые устройства не имеют движущихся частей.

Брат Бенжамин сидел понурившись в своей келье, перебрав в уме, кажется, уже все возможные варианты, когда к нему подошел брат Дэниел и сел рядом. Бенжамин, нуждавшийся в совете, рассказал ему о своих бедах.

— Отбрасывать различные тени, да? С различных направлений? Гм, это мне о чем-то напоминает — погоди-ка, я сейчас вернусь.

Дэниел принес книгу. Бенжамин мельком увидел заголовок.

— Но Дэниел, эта книга занесена в список запрещенной литературы. Я не имею права ее читать. Где ты...

— В личной библиотеке аббата, брат. Старая лиса придерживает все интересное для себя!

— Ты можешь навлечь на меня серьезные неприятности с этой книгой, — пробормотал Бенжамин. Он склонился над ней и прочитал: — Гё-

дель, Эшер, Бах «Вечная золотая тесьма». — Он пролистал несколько страничек, но не нашел ничего непристойного. — А почему, собственно она запрещена?

— Поговаривают, там было что-то во взаимоотношениях между Ахиллесом и черепахой.

— И что, это действительно так?

— Не знаю, еще не дочитал до этого места. Лучше я тебе покажу то, о чем я вспомнил в связи с твоим рассказом. Погляди на обложку.

На обложке был изображен деревянный предмет странной формы. Он отбрасывал три тени. Слева тень выглядела как буква G. Снизу как B, а справа — E (см. рисунок на с. 79).

— Я подумал, это может навести тебя на мысль, — сказал брат Дэниел. — По крайней мере здесь показано, как можно получить три совершенно различные тени от одного и того же объекта. Может быть, тут есть какой-то общий принцип.

— Знаешь, брат, возможно, ты прав. Я слишком сконцентрировался на деталях, например, как получить правильную форму цифр. Вместо этого мне, наверное, стоило изучить более общую проблему: какое существует отношение между тенями, которые объект может отбрасывать в различных направлениях.

— И тебе известен теперь ответ?

— Думаю, да, — сказал Бенжамин, покрутив книжку в руках. — Эта картинка многое проясняет.

— Так какое же отношение существует между тенями, которые объект может отбрасывать в различных направлениях? — спросил Дэниел.

— Его не существует, — ответил Бенжамин и без объяснений ушел, чтобы обдумать как следует свою идею.

После нескольких недель беспре-рывной работы в своей мастерской монах достиг желаемого результата.

Он понес законченное изделие к аббату, чтобы продемонстрировать его в действии.

— Мой господин, уменьшенная модель готова, — гордо произнес Бенжамин. — Если вы одобрите ее, я закажу полномасштабную версию, которая будет построена во дворе.

Аббат посмотрел на поверхность стола, где не очень контрастно, но все же достаточно четко проступала тень с цифрами 1:52. Аббат взглянул на свои часы, которые показывали 4:17.

— Прошу прощения, господин аббат, — сказал Бенжамин, когда тот указал ему на очевидное несоответствие. — Нужно немножко подрегулировать.

Какое-то время он повозился с устройством, пока оно не стало показывать 4:17. Аббат снял часы с руки и положил их на стол рядом с солнечным циферблатом. Когда часы переключились на 4:18, тень несколько помутнела, но через мгновение тоже показывала 4:18. В течение нескольких минут они наблюдали за синхронным ходом цифровых и солнечных часов.

— Замечательно, — сказал аббат. — Может быть, вы объясните, как они работают?

— Мой господин, я начал понимать природу такого устройства, когда задался весьма общим вопросом: какое существует отношение между тенями, которые отбрасывает объект в различных направлениях? Для обычных предметов обихода, относительно несложных по структуре, т. е. состоящих из плоских или гладких поверхностей, ответ заключается в том, что тени могут варьироваться непрерывным образом. Следовательно, малые изменения в угле освещения приводят к малым изменениям в форме тени.

— Однако благодаря своей подготовке в качестве монаха евклидовско-

го ордена я довольно хорошо знаком со всеми аспектами геометрии. Как вам известно, моя специальность — это фракталы. Фракталы же отличаются тонкой структурой на всех уровнях увеличения. Мне пришло в голову, что если бы я смог каким-то образом «увеличить» эту мелкую структуру, то сумел бы построить фрактал, тень которого варьировалась бы дискретно. Я исходил из предположения, что для любого списка заданных теней найдется такая форма, которая при освещении из определенной последовательности направлений покажет все эти тени. Вообще говоря, тени, отбрасываемые правильно выбранным фракталом, могут изменяться как по форме, так и по размеру совершенно произвольно. Оставалось только проверить, верно ли мое предположение. Мне удалось убедиться, что по существу я прав: соответствующая математическая теорема была доказана в 1986 г. Кеннетом Фолкнером из Бристольского университета в Англии. Однако чтобы доказательство работало, тени в некоторых случаях должны изменяться путем добавления или устранения очень небольшого множества точек. Поскольку такие множества практически не видимы для глаза, эта операция не влияет на действие солнечного циферблата. Интересно отметить, что ключевая идея основана на принципе жалюзи, который применяется итеративно, чтобы получить множество, имеющее в некоторых направлениях большую тень, а в других — исчезающе малую (см. рисунок на с. 80). Объединяя большое число таких множеств и применяя предельный переход, можно продемонстрировать, что теорема верна. Работая в своей мастерской, я сумел достаточно детально выполнить описанную процедуру, чтобы можно было построить солнечные цифровые часы, которые вы видите на вашем столе.

То, что аббат увидел и услышал, произвело на него глубокое впечатление.

— Брат Бенжамин, ваши солнечные часы — просто чудо! Конечно, награда ждет вас на небесах, ведь она значительно больше означает для души, чем любое земное благо.

И тут аббата посетила другая мысль.

— Послушайте, может быть, вы окажете содействие в еще одном маленьком деле?

У монаха не было другого выбора, как согласиться.

— Я слышал, что в Тибете монахи пользуются машинами, в которых письменная молитва наматывается на колесо. Когда колесо вращается,

молитва, вращаясь вместе с ним, как бы «читается». Это очень важное новшество и, по моему мнению, весьма и весьма похвальное. Но как верный последователь Евклида вы знаете, что только произнесенная молитва имеет силу. Интересно, можно ли воспользоваться принципами, аналогичными тем, что заложены в ваших цифровых

солнечных часах, чтобы создать машину, которая, вращаясь под действием ветра, производила бы нужные звуки?

«Боже милостивый, — подумал Бенжамин, — как же мне построить синтезатор молитвы, используя альтернативную энергию!»

Наука и общество

«Огненная вода» и рыбоводство

СНИЖЕНИЕ спроса на спиртные напитки в последнее десятилетие встревожило производителей этой продукции. Это беспокойство затронуло даже консервативно настроенных людей, владельцев винокуренных заводов, выпускающих виски “Jack Daniel’s Tennessee”, на этикетке которого в довоенных традициях с гордостью утверждается: «Виски, изготовленное по рецепту, которым пользовались наши отцы на протяжении семи поколений».

Компания Brown-Fogman, которая среди прочего производит такие сорта виски, как “Early Times Old Style Kentucky Whisky”, “Canadian Mist” и “Southern Comfort”, рассматривает диверсификацию как важнейшее направление своей экономической стратегии. Помимо других областей бизнеса, не связанных с производством спиртных напитков, ей принадлежат компании Lenox China и Hartmann Luggage, а сейчас она занялась новым для себя делом — рыбоводством.

Причиной такого поворота стало... виски. Компания пыталась найти способы рационального использования побочных продуктов с винокуренного завода в Луисвилле, на котором производится “Early Times Kentucky Whisky”. Ежегодно заводу приходилось избавляться от 10 тыс. тонн использованной зерновой смеси, состоящей из пшеницы, ржи и пивоваренного ячменя. Кроме того, при конденсации виски в результате процесса перегонки выделяется огромное количество тепла.

В 1987 г. вся разработка выгодного с экономической точки зрения способа переработки использованной зерновой смеси была возложена на Джозефа Мейна, который в настоящее время является директором компании по рыбоводству. В то время задачей Мейна было приобретение и продажа зерна по срочным контрактам, а так-

же сделки, заключаемые в Чикагской торговой палате с целью сведения к минимуму колебаний цен на зерно, необходимое для снабжения компании.

Высушенная зерновая смесь продается на корм скоту или для добавок при выпечке хлеба. Но в компании Brown-Fogman полагали, что было бы выгоднее продавать смесь на фермы, расположенные в дельте Миссисипи, где разводят сомов. При добавлении в смесь сои и рыбной муки этот комбикорм, вероятно, мог бы стать основным источником поставок для американского рыбоводства, которое произвело в прошлом году 860 млн фунтов рыбы, что в четыре раза больше, чем в 1980 г.

На совещании представителей рыбного хозяйства в 1987 г. Мейн встретился с сотрудником компании, производящей этанол, который сообщил, что его фирма рассматривает вопрос о том, чтобы заняться рыбоводством. Идея подключения винокуренных заводов к разведению рыбы настолько заинтриговала Мейна, что он обратился с этим предложением к высшему руководству компании Brown-Fogman. Компания приступила к исследованиям в области технологии рыбоводства, начав с небольшого закрытого водоема и постройки над ним складского здания, которое дополняют открытые пруды на Миссисипи.

Для того чтобы освоить премудрости рыбоводства, компания должна была бы пройти через огромные потери рыбы в результате болезней, плохой фильтрации или других причин. Brown-Fogman избрала наиболее сложный в техническом отношении путь. Вместо того чтобы выращивать рыбу в открытых прудах, на предприятии в Луисвилле используются емкости, расположенные в закрытом помещении, в которых вода рециркулируется 30 раз в сутки. Избыточное тепло, получаемое в процессе дистилляции, нагревает воду до благоприятных 28°C, а в качестве корма для ры-



НА СВОЕМ ПРЕДПРИЯТИИ по выращиванию рыбы компания Brown-Forman использует отходы от производства виски, которые идут на корм и поддержание необходимого температурного режима при выращивании тилапии.

бы стала использоваться зерновая смесь.

Учитывая возможность жесткого контроля за поддержанием необходимых условий, потенциально система может быть весьма продуктивной. Но если что-то не сработает, потери могут быть катастрофическими. «Еще нет ни одного более или менее крупного предприятия с рециркуляцией, которое было бы выгодным в финансовом плане, и надо еще посмотреть, будет ли таковым их завод», — говорит Джеймс Тидуэлл, старший научный сотрудник в Центре исследований в области рыбоводства Университета шт. Кентукки, консультировавший компанию Brown-Forman по этому проекту.

Тидуэлл отмечает, что компания хорошо подготовилась к использованию процесса, требующего круглосуточного соблюдения условий окружающей среды, при малейшем нарушении которых в считанные минуты может произойти массовая гибель рыбы. В любой емкости для выращивания рыбы (независимо от ее размеров) необходимо регулировать температуру воды и снабжать ее кислородом. Технически сложным представляется удаление рыбных отходов через серию узких резервуаров глубиной пять футов. В двухступенчатом процессе применяются фильтры, в которых имеются бактерии, сначала преобразующие аммиак, выделяемый рыбой через жабры, в нитрит и затем в менее токсичные нитраты, которые затем вымываются. Другая система фильтрации служит для очищения емкостей от твердых отходов.

Если компания Brown-Forman добьется успеха в эксплуатации своей установки, находящейся в закрытом помещении, то новый процесс, вероятно, изменит все рыбоводство. Успех в применении этой технологии позволил бы выращивать рыбу круглый год в местах, находящихся в непосредственной близости от пунктов сбыта. При этом рыба растет значительно быстрее. «Можно добиться годового прироста веса за три или четыре месяца», — утверждает Мейн.

Эта технология также позволит интенсифицировать производство: миллион галлонов воды может дать миллион фунтов рыбы, т. е. в 200 раз больше, чем при разведении рыбы в прудах. «Это все равно что вырастить рыбу в фунт весом в кувшине для молока», — говорит Тидуэлл.

На сегодня компания Brown-Forman истратила на рыбоводство более 7 млн долл., включая закупку новейшей европейской технологии фильтрации и резервных систем энергоснабжения и насыщения воды кислородом. Она продолжает вкладывать деньги в новое производство даже теперь, когда такая компания, как J.R. Simplot (шт. Айдахо), занимающаяся переработкой картофеля и являющаяся поставщиком фирмы McDonald's, отказалась от осуществления перспективного проекта в области рыбоводства, потеряв на нем миллионы долларов.

Помимо приобретения лучшей технологии стратегия компании Brown-Forman заключается в том, чтобы заниматься не только разведением неприхотливых сомов. Компания также

рассматривает вопрос о целесообразности разведения не требующей больших затрат экзотической тилапии, которая малоизвестна американскому потребителю. Кроме того, особое внимание обращается на выращивание быстрорастущего гибрида полосатого и белого окуня, являющегося более сложным для разведения, чем другие виды, которыми занимаются в рыбоводческих хозяйствах. Фунт этой рыбы при оптовых продажах стоит 3 доллара, в четыре раза больше, чем фунт привычного сома.

Компания закупила два миллиона сеголеток и к концу года надеется продать два миллиона фунтов окуня, что даст ей возможность стать средним по объемам поставщиком продукции рыбоводства.

Однако Brown-Forman занимается не только разведением рыбы в одной емкости. Она также использует традиционный метод выращивания рыбы в прудах на Миссисипи. Лишь четверть всех сеголеток предназначалась для ее водоема, находящегося в закрытом помещении. Но владельцы компании готовы поспорить, что именно этот водоем, в котором выращивание рыбы осуществляется с помощью использования отходов от производства «огненной воды», делает ее конкурентоспособной на рынке продукции рыбоводства.

Гэри Стикс

Расцвет и упадок городов

50-Е ГОДЫ были временем расцвета промышленности в Питтсбурге. Он был центром американской сталелитейной индустрии, и можно было предположить, что город, в котором сконцентрирована промышленная база такой важной отрасли, будет расти и в дальнейшем. Финикс, с другой стороны, находился, как казалось, на задворках американской экономики. Его торговая деятельность представлялась весьма разнородной — от оптовой торговли сельскохозяйственной техникой до слесарного оборудования.

Но вот прошло 30 лет, и Финикс процветает, а Питтсбург в упадке. В чем причины такого поворота? «Циник мог бы объяснить это тем, что на развитие городов большее влияние, чем считалось ранее, оказал климат или что мы лишь являемся свидетелями упадка американской промышленности», — замечает экономист из Чикагского университета Хосе А. Шейнкман, сотрудничающий с Андреем Шлейфером из Гарвардского университета и аспирантами Эдвардом Л.

Глезером и Хеди Д. Каллалом. Экономисты же считают, что они нашли более убедительное объяснение, которое несколько лет назад было предложено Джейн Джекобс — специалистом по проблемам урбанизации: города процветают при наличии в них развитой многоотраслевой промышленности и высокой конкуренции.

Именно движущие силы развития веками привлекали пристальное внимание экономистов. Формально они объясняют развитие и рост увеличением капиталовооруженности, численности рабочей силы и прогрессом в технологии. Если говорить конкретнее, то нобелевский лауреат Роберт М. Солоу показал, что из этих трех факторов важнейшую роль играет технология.

При этом центральным остается вопрос о том, почему в одних районах технология развивается успешнее, чем в других. Экономисты признают, что технологический прогресс более существенен там, где шире возможности для взаимодействия людей. По этой причине города развиваются быстрее, чем сельские районы. Однако экономисты расходятся во мнениях относительно того, какой должна быть концентрация промышленности, чтобы способствовать росту города.

Согласно двум наиболее авторитетным теориям, компании должны преуспевать в тех регионах, которые специализируются в таких отраслях (и обслуживают их), как сталелитейная промышленность в Питтсбурге или полупроводники в Кремниевой долине. Согласно одной теории, лучше всего способствуют развитию технологии монополии, по утверждению сторонников другой теории — острая конкуренция между многочисленными фирмами.

Первую теорию, увязывающую существование монополий и появление новых технологий, поддерживают многие известные экономисты. Они утверждают, что создатели новых технологий понимают, что конкуренты могут копировать и наживаться на их разработках. В итоге новаторам наплевать обслуживать своих конкурентов, и они решают снизить темпы научных разработок. Но если у новаторов будет лишь несколько конкурентов, утверждают экономисты, они будут меньше обеспокоены опасностью копирования своих разработок и будут тратить больше времени и денег на научные исследования. В этом случае ведущая компания способна создать больше технологических разработок, что в свою очередь будет стимулировать развитие данного города.

Но с такой точкой зрения не согласен профессор Гарвардской школы бизнеса Майкл Е. Портер. Он утверждает, что, когда многие фирмы в одном географическом районе производят одинаковые товары, они побуждают друг друга выдавать больше разработок. Промышленный шпионаж стимулирует передачу технологии, и те фирмы, которые не используют и не совершенствуют технологию, разработанные другими, будут уничтожены своими конкурентами.

КОГДА Джекобс впервые занялась анализом роста городов в 60-е годы, казалось, что ее взгляды не соответствуют реалиям времени. Она соглашалась, что конкуренция способствует развитию технологии, но утверждала, что самыми здоровыми городами являются те, в которых промышленность представлена наибольшим числом отраслей.

По мнению Джекобс, важнейшие технологии развиваются наиболее быстро тогда, когда идеи из одной отрасли промышленности привносятся в другую. Например, нью-йоркские торговцы зерном и хлопком испытывали потребность в заключении сделок внутри страны и с зарубежными партнерами, что стало стимулом к развитию финансового сектора экономики.

Возможно, причиной, почему теория Джекобс в значительной степени оставалась незамеченной экономистами на протяжении около двух десятилетий, явилось то, что ее автор не предложил соответствующих моделей или количественного обоснования своих наблюдений. Шейнкман и его коллеги открыли для себя ее работу по счастливой случайности после того, как кто-то посоветовал им прочитать книгу «Экономика городов», написанную Джекобс в 1969 г.

В ходе анализа того, какие города развивались, а какие — теряли свои позиции, Шейнкман и Шлейфер сопоставили уровни занятости в промышленности для 1956 и 1987 годов примерно в 170 городах.

Экономисты обнаружили, что к городам, сдающим свои позиции, в основном относятся неконкурентоспособные индустриальные центры Среднего Запада с высокой концентрацией промышленности, такие, как Питтсбург и Кеноса (шт. Висконсин), в которых 60% рабочих мест обеспечивалось четырьмя отраслями промышленности. В Финиксе, одним из наиболее быстрорастущих городов из выборки экономистов, главные четыре отрасли обеспечивали лишь немногим более 20% рабочих мест.

Шейнкман и Шлейфер выявили так-

же и другие характеристики растущих и находящих в застое городов. Например, медленнее развиваются отрасли промышленности, представленные в отдельном городе в большей степени, чем в среднем по стране. С другой стороны, отрасль развивается быстрее, если средние размеры компаний (по численности занятых) меньше, чем в целом по стране. Кроме того, быстроразвивающиеся отрасли базировались в городах, где были сравнительно слабо представлены другие ключевые отрасли промышленности — по-видимому, помогало большее количество скромных соседей. «Общие результаты не благоприятны для теории Маршалла — Эрроу — Ромера, смешанные для Портера и вполне благоприятные для Джекобс», — считают экономисты.

Что касается других экономистов, то они заинтригованы, но еще не убеждены. Многие сомневаются, в достаточной ли степени имеющиеся данные подтверждают идеи Джекобс. Результаты многочисленных эконометрических исследований показывают, что концентрация промышленности действительно имеет большое значение. Важно, чтобы, как отмечает Дж. Вернон Хендерсон из Университета Брауна, «люди, у которых вы учитесь и которые помогают вам создавать новые разработки, были из вашей отрасли».

Хендерсон добавляет, что традиционная точка зрения, возможно, верна в отношении статического роста, при котором промышленность совершенствует уже существующие товары. Напротив, гипотеза Джекобс может в большей степени относиться к динамическому росту, когда промышленность предлагает революционные новшества, которые становятся основой для совершенно новых технологий и товаров.

Шейнкман и Шлейфер намерены продолжить свои исследования. Между тем миллионы американцев будут внимательно наблюдать за тем, как будет развиваться дальнейшая судьба крупнейшего города страны — Нью-Йорка. Этот город остается загадкой. Несмотря на наличие высокоразвитой и многоотраслевой промышленности всех пяти районов Нью-Йорка, из газетных заголовков можно узнать, что город медленно, но все же движется к упадку: последние десять лет практически наблюдается застой. Однако экономисты отмечают, что, учитывая огромные размеры и необычность этого города, он, вероятно, подчиняется действию каких-то особых закономерностей.

Элизабет Коркоран и Пол Уоллич

Волны есть волны... Частицы есть частицы...

ПОРЦИЯ ЭНЕРГИИ или вещества может наблюдаться либо в виде волны, либо в виде частицы. Но никогда это не может происходить одновременно, что и составляет суть одного из наиболее фундаментальных положений квантовой механики, называемого принципом дополнительности.

Конечно, доказать его справедливость не так просто. Когда-то физики поверили, что любой эксперимент, призванный продемонстрировать свойство дополнительности, с необходимостью должен оказаться в определенном смысле слишком грубым для выполнения этой задачи. Некоторые ученые полагали, что эта «грубость», присущая всем экспериментам, и является той самой причиной, по которой ни один из объектов никогда не наблюдался в виде волны и в виде частицы в одно и то же время.

Последние технические достижения, такие, например, как создание одноатомного мазера, открыли возможность для разработки чувствительной аппаратуры, которая измеряет положение атома и — по крайней мере теоретически — предсказуемым образом изменяет его волновое поведение. Подобные установки внушают физикам проблеск надежды, что они действительно смогут наблюдать атомы одновременно и в виде волн, и в виде частиц.

Но все не так просто. Теория утверждает, что в то время, как прибор измеряет положение атомов, совершенно теряется всякая информация об их волновых свойствах. Нравится

это или нет, но проведенные эксперименты подтверждали все наблюдаемые предсказания теории.

Устройство, созданное для проверки принципа дополнительности, представляет собой удачную модификацию известного эксперимента с двумя щелями. В первоначальной версии этого эксперимента источник испускал атомы в направлении экрана, в котором были прорезаны две тонкие щели. Если атом пролетал сквозь щель, он оставлял светлое пятно на фотоземлюсии, помещенной за экраном. После пролета примерно миллиона атомов на эмulsionии появлялись яркие полосы.

В рамках квантовой механики происхождение этих полос объясняется следующим образом. После вылета из источника атом ведет себя как волна, которая может складываться с другими атомными волнами, усиливая или ослабляя их. Две щели подобны волнорезу в порту: они делят атомную волну на две части, которые распространяются и интерферируют в пространстве за экраном. Наиболее вероятно попадание атома в те точки на фотоземлюсии, где две части атомной волны усиливают друг друга. После прохождения через эти точки множества атомов на фотоземлюсии появляются яркие полосы — интерференционная картина.

Однако такое объяснение означает прохождение одного атома через обе щели и его интерференцию с самим собой. Естественно, отдельный атом должен пролететь лишь сквозь одну из имеющихся щелей. Но все предыдущие попытки проследить путь атома и в то же время сохранить волновую картину не удавались из-за действия

принципа (соотношения) неопределенностей Гейзенберга или, проще говоря, из-за «грубости» эксперимента.

Соотношение неопределенностей утверждает, что при точном измерении положения атома его импульс изменяется на непредсказуемую величину. При изменении импульса вносятся возмущения в волновое поведение атомов и интерференционная картина исчезает. В своих «Лекциях по физике», опубликованных в 1965 г., Р. Фейнман (ныне покойный) отметил, что «никто никогда не сумел найти (или хотя бы представить себе) способ обойти соотношение неопределенностей».

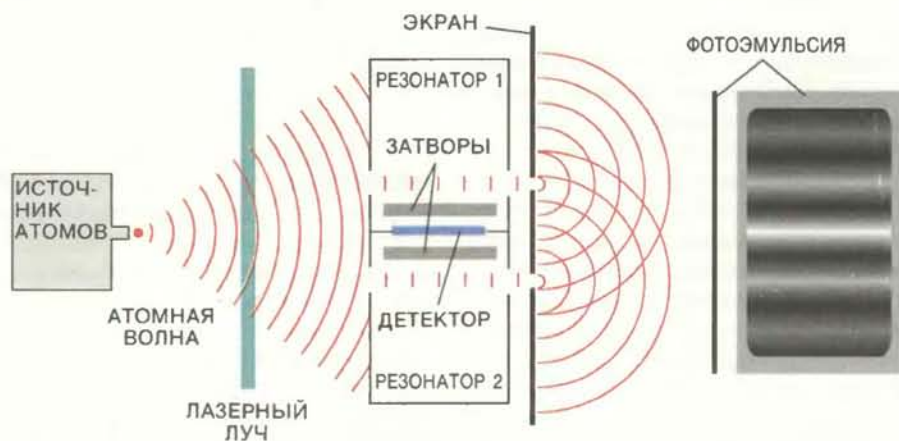
Через 26 лет физики наконец придумали такой способ. Ю. Швингер из Университета Южной Калифорнии и М. Скулли из Университета шт. Нью-Мехико вместе с Г. Вальтером и Б.-Г. Энглертом из Института квантовой оптики Общества им. Макса Планка предложили модифицированный эксперимент с двумя щелями, который обходит соотношение неопределенностей. В своей версии эксперимента, опубликованной в журнале «Nature» 9 мая 1991 г., они предложили установить на каждой щели со стороны источника атомов два небольших резонатора. В каждом из них есть отверстия для пролета атомов. При входе в резонаторы атомы освещаются лазерным лучом. Лазер настроен таким образом, что при прохождении атомов через луч они поглощают фотоны высокой энергии и переходят в возбужденное состояние. Резонаторы спроектированы так, что пролетающий через них возбужденный атом испускает фотон низкой энергии. (Такие резонаторы — ключ к созданию одноатомного мазера.)

Эксперимент начинается с того, что атомы поодиночке пролетают последовательно через лазерный луч, резонаторы и щели. Каждый атом поглощает высокоэнергетический фотон и затем внутри резонатора испускает фотон низкой энергии. Присутствие такого фотона в одном из резонаторов указывает, через какую щель пролетел данный атом.

Поскольку атом поглощает фотон высокой энергии перед пролетом через систему резонатор — щель, этот процесс не влияет на эксперимент. Действительно, при выполнении эксперимента в отсутствие резонаторов, когда атомы остаются в возбужденном состоянии, воспроизводится первоначальный результат эксперимента с двумя щелями.

Однако результат эксперимента с использованием резонаторов оказывается совершенно иным. При испускании фотона низкой энергии изменение импульса атома вполне пред-

Эксперимент для проверки принципа дополнительности



Когда атом проходит через лазерный луч, он поглощает фотон. Затем в одном из резонаторов атом испускает фотон. Детектор захватывает этот фотон, если затворы открыты. Атом проходит через одну из двух щелей и попадает на фотоземлюсию. После прохождения миллионов атомов по этому пути на фотоземлюсии возникает интерференционная картина.

сказуемо. В этом случае импульс не меняется по случайному закону, как в системах, где играет роль соотношение неопределенностей. В эксперименте с резонаторами удалось установить, через какую щель пролетел атом, не «размазывая» при этом атомной волны.

Но даже когда атом сигнализирует о своем положении испусканием низкоэнергетического фотона, он теряет способность интерферировать с самим собой, т. е. в этом эксперименте наблюдается отсутствие интерференции вследствие корреляции между атомными волнами и актом измерения пути атомов через щели. В результате исчезает интерференционная картина с яркими полосами. Таким образом, выполнение принципа дополненности обеспечивается иным механизмом, чем соотношение неопределенностей.

Сейчас физики ведут подготовку экспериментов, которые должны выявить наиболее странные аспекты принципа дополненности. Эксперимент, названный квантовым стиранием, должен продемонстрировать, что если уничтожить накопленную информацию с пути атомов, то интерференционная картина должна сохраниться. Идея квантового стирания была предложена в начале 80-х годов Скулли и Э. Джейнсом из Университета Вашингтона в Сент-Луисе.

В этом эксперименте между резонаторами помещен детектор, и одна из стенок каждого резонатора заменена затвором. Если затворы открыты, то фотоны из любого резонатора могут попасть в детектор. Эксперимент начинается при закрытых затворах. Атом влетает в один из резонаторов, где он испускает фотон. Пока фотон «мечется» в полости резонатора, атом пролетает сквозь соответствующую щель и попадает на фотоэмульсию, оставляя светлое пятно.

Мгновением позже затворы внезапно открываются. Согласно теории, фотон, все еще находящийся в резонаторе, с вероятностью 50% может быть поглощен детектором. Если детектор захватывает фотон, то светлое пятно на фотоэмульсии помечается. Это может быть проделано с помощью некоторого механизма, окрашивающего пятно на фотоэмульсии в голубой цвет. Синее пятно соответствует атому, информация о пути которого была с определенностью «стерта» после его попадания на фотоэмульсию. Если же детектор не поглощает фотон, то пятно окрашивается в красный цвет, указывающий, что информация о пути может быть утеряна, но может и сохраниться. После прохождения через это устрой-

ство множества атомов и окрашивания оставленных ими пятен в соответствующие цвета на фотоэмульсии должны появиться синие и красные полосы, как и предсказывает теория.

Важно, что интерференционная картина должна возникнуть несмотря на то, что информация о пути атома «стирается» после того, как он попал на эмульсию. Атомы как будто «знают», в каком месте на эмульсии им следует «приземлиться» до того, как прибор «скажет» им, куда надо лететь. Недавно Скулли и его соавторы разрешили этот парадокс в рамках математического аппарата квантовой механики.

Но если реальный эксперимент не приведет к появлению синих и красных полос? «В этом случае я скажу, что что-то не в порядке с экспериментом», — заявил Скулли. Он имеет хорошие основания чувствовать себя уверенно. «Квантовую механику можно сравнить с автомобилем, который мы купили 60 лет назад и с которым за все это время не случилось ни единой поломки», — считает Скулли. Немногие ученые стали бы оспаривать это утверждение, но большинство физиков почувствовали бы себя спокойнее «за рулем квантового автомобиля», если бы смогли лучше разобраться в его «двигателе».

Биокерамики в суставах

ИСКУССТВЕННЫЕ СУСТАВЫ, обладающие механическими свойствами, необходимыми для того, чтобы удерживать вес тела и совершать повторяющиеся движения, — это уже реальность. Однако остается проблемой, как обеспечить тесную и прочную связь поверхностей имплантата, который обычно изготавливается из металла, и костной ткани реципиента. Казалось бы, здесь подойдут пористые поверхности с ямками, бороздками или гранулярным покрытием. Но искусственный сустав с такой поверхностью при некоторой свободе положения в ткани будет при движении причинять боль и обрестет волокнистой соединительной тканью.

В настоящее время специалисты по бионике ищут способы заставить клетки костной ткани расти вплотную к поверхности имплантата; это приблизило бы прочность контакта к свойствам нормальной кости. Хорошую службу могут сослужить покрытия из керамических материалов, структурно подобных костной ткани. Такими разработками занимаются крупные ортопедические компании, в том числе Zimmer, Howmedica, DePuy, Biomet, а также Osteonics, Intermedics и Richards.

Среди подходящих для этих целей материалов наибольшее внимание привлекает гидроксипатит (кристаллическая форма фосфата кальция), имитирующий основной минеральный компонент костной ткани. Мелкие кристаллы гидроксипатита располагаются на коллагеновых волокнах с интервалом 640 Å, обеспечивающих прочность на разрыв длинных костей. Из тех же элементов — кальция и фосфора, — но в другом соотношении состоит сходный керамический материал — трикальцийфосфат, который, прежде чем раствориться, способствует росту костной ткани. «Сейчас все надежды возлагаются на покрытия из фосфата кальция», — отмечает Дж. Живек, возглавляющий лабораторию ортопедической бионики в Медицинском центре Аризонского университета в Таксоне.

На сегодняшний день разрешение Управления по контролю качества пищевых продуктов, медикаментов и косметических средств США (FDA) на продажу протезов тазобедренного сустава с покрытием из гидроксипатита получили две фирмы: Osteonics в Аллендейле (шт. Нью-Джерси) использовала технологию, разработанную в Нидерландах, и в декабре 1990 г. первой получила разрешение на окончательное утверждение; Intermedics в Остине (шт. Техас) добилась этого в марте 1991 г.

Продукция, которая будет признана лучшей, откроет своим изготовителям отличный рынок. В прошлом году в мире в целом была проведена имплантация 400 тыс. протезов тазобедренного сустава и 150 тыс. коленного. Первая операция стоит от 800 до 4000 долл. Более дорогие протезы пользуются спросом в основном в США; 10—15% их стоимости приходится на долю покрытия.

Высказывались сомнения, оправдана ли дополнительная плата за покрытие. Как отмечает директор медико-биологического инженерного центра в Дартмут-Колледже Дж. Коллир, для получения разрешения FDA фирме-изготовителю нет нужды доказывать, что ее новая продукция лучше уже имеющейся в продаже — достаточно их эквивалентности. «За что, собственно, берутся лишние деньги, если нет доказательств превосходства данного товара по сравнению с остальными?» — говорит он.

Кроме того, пока нет определенности в вопросе о долгосрочной стабильности и эффективности гидроксипатитного покрытия. Хотя, как признает Коллир, достоверно показано, что у животных биокерамическое покрытие способствует росту костной ткани, нет уверенности в том, что



БИОКЕРАМИЧЕСКОЕ ПОКРЫТИЕ из гидроксиапатита (коричневатый слой) способствует росту костной ткани (лиловая область) у поверхности искусственного тазобедренного сустава (черный). Фотография Дж. Колпира.

такой же эффект будет у людей. Животным вообще свойственна большая, чем человеку, скорость регенерационных процессов в опорно-двигательном аппарате, так что результаты экспериментов на животных мало о чем говорят. Кроме того, по утверждению Дж. Парсонса, руководящего ортопедическими исследованиями в Медицинской школе шт. Нью-Джерси в Ньюарке, ни один вариант покрытия не обладает абсолютной стабильностью. «Бывает, что со временем покрытие исчезает, а последствия этого совершенно неясны», — подчеркивает он.

Теоретически биокерамические материалы столь похожи на природную кость, что их растворение не составляет проблемы, а иногда даже желательно. Но клинические испытания имплантируемых суставных протезов с покрытием из гидроксиапатита начались в Европе всего лишь четыре года назад. Парсонс сказал: «Большинство пациентов менее двух лет как покинули клинику. На сегодня есть кое-какие наблюдения и впечатления, но определенности нет».

Сторонники биокерамических покрытий отмечают, что специфическая форма гидроксиапатита уже десять лет используется в стоматологии для заполнения зубных лунок и восстановления челюстных костей, а сведений о каких бы то ни было негативных эффектах нет. Иногда смесь гидроксиапатитовых гранул с кровью либо свежеприготовленными фрагментами костной ткани наносят вокруг костного трансплантата или краев костей при тяжелых переломах.

В ортопедической хирургии предпочтительнее гидроксиапатитовые покрытия. Изготовители протезов на-

носят покрытие сами или же отправляют предназначенные для такой обработки протезы в другие компании, например в Bio-Interfaces в Сан-Диего и Syntex в Пало-Альто (шт. Калифорния). «В этом деле немало промышленных и коммерческих секретов», — заметил президент Bio-Interfaces Дж. Кэй.

Порошок керамического материала наносят на протез обычно при помощи плазменного распылителя; ионизованный гидроксиапатит напыляется при температуре 10—15 тыс. °С. Свойства покрытия зависят от формы протеза, а также от угла напыления и в свою очередь определяют вероятность раскалывания или растрескивания. Н. Блюменталь, участвующий в руководстве отделом бионики в Клинике поражений суставов при Медицинской школе Нью-Йоркского университета, отмечает, что разнообразие технологических процессов ведет к различиям в растворимости, адгезивности, степени кристаллизации: «Нет никакого промышленного стандарта. При плазменном напылении гидроксиапатита о том, что получится, всякий раз можно только гадать».

По словам научного сотрудника того же учреждения Дж. Риччи, с гидроксиапатитовыми покрытиями связаны интереснейшие физико-химические процессы. Так, обнаружено, что в организме из биокерамических материалов высвобождается некоторое количество кальция и фосфата, которые оседают в минерализованном органическом матриксе на поверхности кости. Анализ механических параметров свидетельствует, что поверхность раздела между костной тканью и гидроксиапатитовым

покрытием обладает большой прочностью. Однако Риччи опасается, что выход кальция и фосфата ослабляет покрытие. «Когда протез подводит, дело или в самом покрытии, или в границе между гидроксиапатитом и металлом», — подчеркивает он. Нарушение целостности покрытия может создавать долгосрочные проблемы. Незакрепленные частицы обтирают, изнашивают в результате трения как реципиентную кость, так и имплантат; слушающиеся частицы могут вызывать воспаление. В свете недавней истории с печальной известности трескающимися сердечными клапанами, из которых к тому же высвобождались химические компоненты, понятны особые усилия в направлении стабилизации покрытий.

«В человеческом организме множество биологических материалов, но неизвестно, как они работают, — говорит специалист по бионике Дж. Блэк из Клемсонского университета (шт. Южная Каролина). — Что в действительности означает коррозия или изнашивание в теле человека? Допустим, сейчас инфекция не составляет проблемы. Но что происходит в организме на системном уровне — вот в чем вопрос». Тем не менее, как полагает Блэк, неопределенность вряд ли сдержит коммерцию: «Люди желают прочности».

Лучшие друзья человека

ТРИ ГОДА назад, когда Н. Сидни Мойз снимала обычную электрокардиограмму, ее очень юный пациент заснул на опытном столе и оказался практически при смерти. При этом у него наблюдались перебои в работе больших желудочков сердца и пришлось прибегнуть к помощи дефибриллятора. Мойз — научный сотрудник Ветеринарного колледжа шт. Нью-Йорк при Корнеллском университете; ее пациентом был щенок немецкой овчарки.

Эта собака пополнила длинный список животных, которые в результате ветеринарных исследований стали использоваться в качестве модели для изучения заболеваний человека. Мойз вывела чистую линию собак для исследования сердечных аритмий, которыми страдают миллионы людей. Самое замечательное в ее работе то, что эта модель позволяет проверить гипотезу о роли подобных аритмий в некоторых случаях синдрома внезапной детской смерти, который является в США наиболее частой причиной смерти среди детей в возрасте до 1 года. Путем близкородственного скре-

щивания Мойз удалось получить животных с предрасположением к детской аритмии.

«Согласно нашей гипотезе, данное состояние обусловлено аномальным распределением нервов в сердечной мышце, — говорит Мойз. — В первую очередь мы проверим, обостряется ли аритмия во время сна. Но даже если это окажется не так, значение модели не теряется: сердечные аритмии являются одной из основных причин смерти среди населения США». Изучение таких состояний у животных поможет усовершенствовать их диагностику и лечение у людей.

Действительно, модели многих заболеваний, созданные в поисках средств для лечения животных, в дальнейшем находят применение в медицине. Препарат ивермектин, который был предложен в качестве средства от глистов для собак, можно применять против паразитарного заболевания человека, известного под названием речной слепоты (онхоцеркоза). Другой препарат против глистов, для лошадей, — левамизол — в комбинации с хирургическим вмешательством и обычной химиотерапией на 30% повышает выживаемость людей с раком толстой кишки в тяжелой стадии. Ретровирусы были объектом ветеринарных исследований задолго до того, как возникло подозрение, что они могут быть причиной таких заболеваний человека, как СПИД и лейкоз.

Данные, полученные с помощью животных моделей, часто превосходят по своему значению результаты клинических испытаний. Во-первых, животные действительно принимают препараты в отличие от людей, которые говорят врачам, что пьют лекарства, но часто не делают этого. «Люди лучше следуют рецептам ветеринаров, чем собственных докторов», — говорит Ф. Куимби, руководящий исследованиями на животных в Корнеллском университете. Кроме того, при работе с животными легче не допустить побочных заболеваний, тогда как испытуемые люди часто подвержены инфекциям.

Заболеваниям иммунной системы, подобным СПИДу, сопутствует так много оппортунистических (т. е. вызываемых обычными микробами, для здорового человека не опасными) инфекций, что причина и эффект каждого симптома не всегда можно идентифицировать. Так, остается неясным, является ли причиной связанного со СПИДом слабоумия непосредственно вирус иммунодефицита человека или же здесь действуют и другие патогенные микроорганизмы. По словам Куимби, чтобы выяснить это, в

Корнеллском университете и других научных учреждениях изучаются изменения нервной системы у кошек, зараженных вирусом, аналогичным возбудителю СПИДа у человека.

Животных с редко встречающимися синдромами часто используют для получения чистых линий и в качестве материала для прямых микроскопических и биохимических исследований. Р. Майнор из Корнеллского университета и Д. Паттерсон из Пенсильванского университета с коллегами изучали собак и кошек с синдромом *stretchy* различными методами. У таких животных кожа имеет прочность на разрыв лишь 5% от нормальной. У людей очень редко встречается этот синдром, как и некоторые другие нарушения соединительной ткани — ломкость костей и синдром Марфана (которым, возможно, страдал Авраам Линкольн).

Нормальные животные также вносят свой вклад в медицину. Это демонстрируется, например, панической реакцией владельцев домашних животных на эпидемию болезни Лайма. Ветеринары уверяли, что собаки

вряд ли передают паразитов-возбудителей человеку, а в процессе изучения этого выяснилось, что животные могут служить прекрасной моделью заболевания. Исследования с использованием собак, страдающих болезнью Лайма, уже позволили разработать более чувствительные диагностические методы. «Следующая ступень — повышение специфичности диагностикумов», — сказал иммунопаразитолог Р. Якобсон из Корнеллского университета.

Ветеринары особенно чутки к этическим проблемам, связанным с использованием животных для изучения болезней человека. Ведь именно любовь к животным приводит в эту профессию. Но их задача заключается не в продлении жизни пациента, а в облегчении страданий возможно большего числа животных, тогда как те, кто лечит людей во многих отношениях оказываются более бесщедными. «Для страдающих животных допускается эйтаназия, — отмечает Куимби. — Врачи же должны поддерживать жизнь пациента независимо от того, чего это стоит».



Н. СИДНИ МОЙЗ и собака — потомок той, которая послужила первой моделью для изучения детских аритмий сердца. (Фотография Д. Гранфелда.)

Слабые возмущения

В 1827 г. шотландский естествоиспытатель Роберт Броун, работая с микроскопом, обратил внимание на то, что частички пыльцы в капле воды находятся в хаотическом движении, напоминающем исполнение шотландского танца. Несмотря на то что амплитуда этих беспорядочных движений была невелика, их изучение в XX веке принесло важные открытия: первое вполне определенное свидетельство существования атомов, расчеты физической постоянной, известной как число Авогадро, математические теории, касающиеся описания хаотичности в квантовой механике и объяснение незначительных колебаний в экономике.

Однако в небольшой заметке, опубликованной недавно в журнале "Bulletin of the American Physical Society", консультант, работающий в химической промышленности, Д. Дойч из Па-

садены (шт. Калифорния) высказал мысль о том, что увиденное Броуном на самом деле было вовсе не броуновским движением. Незначительные возмущения частиц, которые он наблюдал, возможно, были не более чем просто незначительными возмущениями.

Хотя беспорядочные движения мелких блуждающих тел и ранее замечались исследователями, работавшими с микроскопами, Броун был первым, кто детально изучил это явление. Повторяя свои наблюдения с использованием частиц стекла и камня, а также пыльцы, Броун продемонстрировал, что странные движения являются не только свойством живой материи. На протяжении всего XIX века физики безуспешно пытались разгадать причину броуновского движения. Они рассматривали возможность того, что частицы передвигаются в капле воды конвективными течениями, но отказались от этой

идеи, когда наблюдения показали, что движения соседних частиц не взаимосвязаны.

Причину броуновского движения случайно обнаружил Альберт Эйнштейн в 1905 г. В поисках доказательства того, что атомы не просто удобные абстрактные понятия, а реальные физические единицы, Эйнштейн пришел к выводу, что воздействие молекул, бомбардирующих взвешенную в жидкости частицу, произвольно изменяется по величине и направлению. В результате частица должна совершать резкие колебания и «блуждать» в окружающей среде. Только обнаружив свои предположения, Эйнштейн узнал, что такое движение уже наблюдали Броун и другие ученые. Позднее Жан Батист Перрен из Парижского университета подтвердил выводы Эйнштейна, проведя измерения броуновского движения взвешенных частиц и вычислив на основании этого число Авогадро. За свои достижения в 1926 г. Перрен был удостоен Нобелевской премии в области физики.

Однако по мнению Дойча, Броун не мог наблюдать броуновское движение в том виде, в котором оно было описано Эйнштейном, при техническом оснащении того времени. Однолинзовый микроскоп, с которым работал Броун, обеспечивал увеличение лишь в 350 раз. При таком масштабе, по расчетам Дойча, действительно броуновское движение можно было бы заметить у частиц диаметром около одного микрона (одна миллионная часть метра). Пыльца и крупинки камня, которые наблюдал Броун, были в десять и более раз крупнее, и их движение было бы незаметным.

Так что же наблюдал Броун? По мнению Дойча, частицы могли перемещаться вследствие колебаний среды и конвективных течений. Современные микроскопы напоминают 16-дюймовые орудия линкора и конструируются такими для того, чтобы исключить возможную вибрацию. Покровные стекла (тонкие стеклянные пластины, с помощью которых образцы удерживаются и предохраняются от высыхания) не использовались в микроскопах до середины XIX века. Значит, наблюдавшиеся Броуном частицы могли приводиться в движение процессом испарения. Позднее исследователи, использовавшие «крупногабаритные» микроскопы и покровные стекла, действительно наблюдали движение частиц в результате хаотической бомбардировки их молекулами и, по мнению Дойча, ошибочно полагали, что это именно то явление, о котором сообщил Броун.

Тем не менее никто до сих пор не



РОБЕРТУ БРОУНУ приписывается исследование явления, которое сегодня называется броуновским движением, но он ли автор этого открытия? Фотография из Granger Collection.

выдвинул официального обвинения для того, чтобы лишить знаменитое движение имени Броуна. И. Бергдюрсер, физик из Университета Теннесси, изучающий жидкую фазу вещества, прочитав заметку Дойча, сказал, что для того, чтобы он убедился в правоте ее автора, необходима более подробная аргументация. Бергдюрсер скептически относится к тем, кто, пытаясь дать новую оценку научной работе спустя много времени, говорит: «Ну теперь-то мы намного лучше знаем, что это было на самом деле». Дойч сообщает, что в настоящее время он готовит более полное обоснование своей позиции, которое, как он надеется, будет готово примерно через год.

Страдание на экспорт

23 МАЯ Верховный суд США подтвердил правила «Статьи X», введенные администрацией Рейгана в 1988 г. и в соответствии с которыми лечебным учреждениям, занимающимся контролем рождаемости и финансируемым из федерального бюджета, запрещается предоставлять женщинам любую информацию об абортax. Это решение, принятое с минимальным перевесом голосов, широко освещалось в средствах массовой информации и вызвало удовлетворение у противников абортax, но также и возмущение у тех, кто выступает за права женщин на выбор.

Лишь 11 дней спустя Верховный суд без особой огласки принял еще одно решение, касающееся абортax, которое, хотя и не вызвало активной реакции общественности, имеет куда более далеко идущие последствия. Правило, без лишних слов одобренное Верховным судом, означает утверждение еще одного положения времен администрации Рейгана, предусматривающего «экспорт» содержащегося в «Статье X» запретительного порядка в отношении абортax в развивающиеся страны.

Этим правилом, получившим название «политика Мехико», поскольку оно было сформулировано на конференции по контролю рождаемости в Мехико в 1984 г., США запрещается предоставлять помощь любой организации, выполняющей абортax, рекомендующей женщинам сделать аборт или ведущей агитацию за право на аборт, даже если эта деятельность финансируется неамериканскими фондами. Подобно правилам «Статьи X», политика Мехико также оспаривалась в суде Американской федерацией сторонников ограничения

рождаемости.

Решение суда вызвало восторг у противников абортax, чья активность явилась причиной появления политики Мехико. Представитель Национальной ассоциации католических священников Ричард Дерфлинджер называет его «проявлением здравого смысла и высокой нравственности». Он утверждает, что эта политика помогла добиться снижения числа непреднамеренных беременностей и содействует «реальному контролю рождаемости» в развивающихся странах.

По мнению экспертов по контролю рождаемости, это утверждение далеко от истины. Представитель упомянутой федерации Салли Дж. Паттерсон утверждает, что на практике политика Мехико, вероятно, привела к росту числа незапланированных беременностей и абортax в странах третьего мира вследствие уменьшения доступности других форм предупреждения беременности. «Мы считаем, — заявила она, — что эта политика привела к увеличению числа женщин, умерших от неудачно сделанных абортax».

В результате проведения такой политики многие международные организации лишились финансирования со стороны Соединенных Штатов, в частности Федерация сторонников ограничения рождаемости, которая в прошлом была крупнейшим получателем американских денег, а также организации, оказывающие услуги по предупреждению беременности и по абортax. Часть средств была переадресована группам, выступающим не только против абортax, но и против всех видов искусственного предупреждения беременности. Агентство международного развития (АМР), являющееся основным распределителем американской иностранной помощи, недавно безвозмездно передало 200 тыс. долл. одной католической организации, пропагандирующей метод цикличности и половое воздержание как лучшие способы контроля рождаемости. Деньги будут переданы Замбии, где быстро распространяется СПИД.

В прошлом АМР играла ведущую роль в регулировании рождаемости, включая абортax, в развивающихся странах. А. Жермен из Международного союза за здоровье женщин, организации, расположенной в Нью-Йорке и оказывающей содействие в медицинском обслуживании и охране материнства и детства в странах третьего мира, отмечает, что в 60-е и начале 70-х годов АМР помогла разработать простую процедуру абортax, которую мог практиковать медицин-

ский персонал, не имеющий высокой квалификации и не располагающий хорошей материальной базой.

Администрации Рейгана и Буша в ежегодном бюджете АМР урезали статью расходов на контроль рождаемости с 300 млн долл. в 1985 г. до 270 млн долл. в 1990 г. Между тем в результате давления консерваторов были прекращены исследования, которые могли бы обеспечить альтернативы абортax как в развивающихся, так и в экономически развитых странах.

В других странах такая тенденция не проявилась. Франция, например, старается распространить в развивающихся странах химическое средство RU 486, вызывающее абортax. А в таких странах, как США, возрастает давление со стороны противников абортax. При этом следует учитывать, что в финансовом и научном потенциале у Соединенных Штатов нет равных в мире. «Сокращение средств на исследования в Соединенных Штатах, — говорит Жермен, — равносильно лишению источника для их проведения».

Поэтому не удивительно, что во многих странах регулирование рождаемости по-прежнему не находит практического осуществления. В докладе Джоди Джекобсон из Worldwatch Institute, исследовательской организации в Вашингтоне, делается вывод, что регулирование рождаемости не охватывает 60% семей в Латинской Америке, 80% в бедных странах Азии (за исключением Китая), 75% на Ближнем Востоке и Северной Африке и 90% в африканских странах к югу от Сахары. При этом, однако, большинство супружеских пар в Латинской Америке и Азии и все большее их число на Ближнем Востоке и Африке, как утверждает Джекобсон, «желают регулировать сроки рождения или ограничить число рождающихся у них детей».

Все эти тенденции неизбежно приводят к тому, что все большее число женщин обращается за помощью к врачам, неквалифицированным в проведении абортax, или пытается прервать беременность самостоятельно. По данным Джекобсон, число смертельных исходов при абортax увеличивается во всех странах Азии (за исключением Китая) и Африки. Теперь они составляют 31% от общей материнской смертности в Бангладеш и 25% в Эфиопии. В шести латиноамериканских странах, добавляет Джекобсон, неудачные абортax уже являются главной причиной смерти женщин в возрастной категории от 20 до



40 лет. В других шести странах этого региона эта причина находится на втором месте. По оценкам Всемирной организации здравоохранения, в результате осложнений после некачественно сделанных аборт в мире ежегодно умирает около 200 тыс. женщин.

Возможно, эти оценки являются заниженными. Согласно исследованию, проведенному в 1988 г. Population Crisis Committee (PCC), частной организацией в Вашингтоне, реализация политики Мехико привела к тому, что финансируемые правительством США медицинские учреждения перестали быть заинтересованными в предоставлении любой статистики об абортах. В некоторых из них все данные об абортах и о связанном с ними лечении были изъяты из служебной документации из-за опасения лишиться американского финансирования.

Формально политика Мехико трагивает лишь частные организации, а не государственные больницы и поликлиники. Однако, как отмечает вице-президент PCC Шерон Кемп, проведение такой политики привело к тому, что некоторые правительства, зависимые от американской помощи, ограничили или прекратили оказание помощи, связанной с абортами, даже в тех случаях, когда закон этих стран разрешает делать это. Кэмп вспоминает, как она спросила одного руководящего работника здравоохранения в Кении (где аборт официально разрешены при определенных медицинских показаниях), почему его организация действует так, будто она обязана соблюдать положение политики Мехико. «Человеку не свойственно рубить сук, на котором он сидит», — ответил функционер.

Теперь, когда политика Мехико получила поддержку Верховного суда, сторонники контроля рождаемости стараются добиться того, чтобы конгресс Соединенных Штатов изменил курс с помощью законодательства. Члены палаты представителей от штатов Мэн и Массачусетс Олимпия Дж. Сноу и Честер Аткинс выступили инициаторами такого законопроекта, который обсуждался в палате 12 июня. Но, по мнению сенатора от Северной Каролины Дж. Хелмса, сенат его не одобрит.

Сотрудник Сноу Кэрл А. Миллер подчеркивает, что политика Мехико может быть еще подорвана в результате принятия соответствующего финансового законопроекта, хотя в этом случае президент Буш может использовать свое право вето. Тем не менее Миллер отмечает, что у противников этой политики есть веские аргументы, в том числе и возмущение многих американцев запретительным правилом, которое теперь обязаны соблюдать медицинские учреждения в Соединенных Штатах. «Мы надеемся, что это выльется в борьбу за права женщин в третьем мире», — заявил Миллер.

Джон Хорган

Соломон Х. Снайдер: достоинства неверных идей

Кресло с мягкой спинкой для него слишком мало. Со своими длинными ногами и руками, вытянутыми под странными углами, Соломон Х. Снайдер все время меняет позу и то вытягивается, то скрещивает и вновь расставляет ноги, тербит всящее на шее удостоверение сотрудника Уни-

Женская смертность вследствие нелегальных абортов

СТРАНА	ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ДОЛЯ, %
ЧИЛИ	36
АРГЕНТИНА	35
ЯМАЙКА	33
БАНГЛАДЕШ	31
КОСТА-РИКА	30
КОЛУМБИЯ	29
ЗИМБАБВЕ	28
ЭФИОПИЯ	25
НИГЕРИЯ	25
ТАНЗАНИЯ	21
ШРИ-ЛАНКА	13

ИСТОЧНИК: Всемирная организация здравоохранения, Совет по народонаселению и Институт мировых наблюдений

ЖЕНЩИНЫ стран третьего мира, желающие ограничить число детей, будут получать меньшую помощь в результате принятого Верховным судом США решения.

верситета Джонса Гопкинса, касается руками лица, подтягивает носки и т. д. и т. п. «Нужно быть оптимистом, потому что порой приходится выдвигать идеи, в ложности которых вы абсолютно уверены, — говорит Снайдер, сначала расставляя и собирая подставки для стаканов на кофейном столике в своем кабинете, затем засовывая пальцы за пояс, как бы стараясь удерживать их в покое на несколько мгновений. — Кроме того, для того чтобы сохранять энтузиазм, нужно, как известно, некоторое расслабление».

Единственное, что кажется ослабленным у Снайдера, одного из наиболее плодотворных и творческих специалистов по изучению мозга, — это его голос. Речь Снайдера, обсуждающего свою исследовательскую работу и личные интересы, почти нарочито медлительна, в то время как его руки и глаза продолжают блуждать, словно стремясь вернуться к главному делу — придумыванию экспериментов.

Сейчас Снайдеру 52 года. Этот исследователь лучше всего известен своими работами 70-х годов, когда он выделил рецепторы опиоидов (веществ, подобных опиуму) и эндогенные опиаты (т. е. обладающие эффектом опия вещества, образующиеся в организме — энкефалины и эндорфины). Однако его вклад в другие области нейробиологии, включая разработку методов для изучения рецепторов, выяснение различных аспектов взаимодействия нейронов, установление механизмов обоняния, культивирование in vitro делящихся нейронов человека, и, наконец, последнее по времени достижение — открытие веществ, образующих, возможно, новый класс медиаторов, ставит Снайдера на передний край этой быстро

развивающейся науки.

Подобно некоторым старшим исследователям, Снайдер явно предпочитает обдумывание новых идей текущей экспериментальной работе. В результате около десяти его учеников осуществляют по заданию «шефа» основную часть экспериментов. Снайдер утверждает, что у него руки не из того места растут, и, оставляя лабораторную работу своим сотрудникам, он более уверен в ее успехе. Учитель Снайдера, лауреат Нобелевской премии, биохимик Дж. Аксельрод из Национального института психического здоровья, придерживается противоположного мнения: «Ему просто нравится так говорить, а на самом деле он вовсе не криворукий».

Для себя Снайдер сравнивает научную работу с сочинением музыки и, как будто с тем расчетом, чтобы ведущий интервью журналист использовал эту яркую метафору, рассуждает о музыкальных лейтмотивах в своем творчестве. Его кабинет, напоминающий удобную гостиную, полон картин и разных вариантов музыкального инструмента, на котором он играет — гитары. Родители Снайдера хотели, чтобы сын стал музыкантом, но тот сопротивлялся этому: «Я был более консервативен, чем мои мать с отцом». Сам он хотел быть психиатром. Надеясь, по его словам, овладеть науками, необходимыми для выбранной профессии, Снайдер поступил в Джорджтаунский медицинский колледж.

Снайдер считает, что благодаря гитаре пришел к своей первой исследовательской работе. В возрасте 19 лет он давал уроки игры на гитаре, и среди его учеников был научный сотрудник Национальных институтов здоровья, которому требовался лаборант на летнее время. Снайдер взялся за это дело и осознал, что экспериментальная исследовательская работа совсем не похожа на науку, как он ее себе представлял: «Наука — это значит проведение каких-то измерений, получение цифр и их анализ, вот и все. А экспериментальное исследование является настоящим творчеством — это поиск, открытие, фантазия».

Спустя несколько лет, окончив колледж, Снайдер провел год в интернатуре в Сан-Франциско, где, попробовав галлюциноген LSD, страшно заинте-

«Если вы можете ставить по эксперименту в день, то за 10 дней успеете проверить 10 идей, и, возможно, одна из них окажется верной».

ресовался психофармакологией. Хотя многие часы воздействия наркотика привели его в паническое состояние, сей «эксперимент», по словам Снайдера, открыл ему, что в бодрствовании заключено нечто большее, чем в это понятие обычно вкладывают, и что в головном мозге происходят потрясающие вещи.

Он и теперь считает наркотические препараты ценным инструментом для изучения функционирования мозга. «Основная часть наших знаний о нейромедиаторах получена с помощью влияющих на их действие препаратов», — объясняет он. Собственно, по его мнению, тот факт, что многие нейробиологи сегодня игнорируют фармакологию, является весьма слабым местом в этой области: «Они упускают очень мощный подход».

Сам Снайдер в совершенстве владе-



СОЛОМОН Х. ШНАЙДЕР, один из известнейших специалистов по нейробиологии, считает себя неподходящим для экспериментальной работы. (Фотография Chris Usher/Black Star)

ет этим подходом. Ранняя известность пришла к нему благодаря работе о действии опиатов на мозг. В 1971 г. во время «войны», которую президент Р. Никсон вел с наркотиками, федеральное правительство начало финансировать исследования, направленные на выяснение нейрохимических основ пристрастия к героину, с целью найти способ лечения наркомании. Снайдер, работавший тогда в лаборатории Аксельрода, изучал нейромедиаторы и влияние наркотиков на нервную систему (к тому времени он был уже профессором фармакологии и психиатрии в Университете Джона Гопкинса).

В 1973 г. в результате прямого эксперимента Снайдеру и аспирантке Кэндис Перт, удалось выделить рецептор опиоидов. Тем самым в психофармакологии появилась возможность ослаблять боль путем связывания рецепторов без привыкания к препарату, а также лечить наркоманию и, возможно, психические расстройства.

Метод обратимого связывания лигандов, разработанный Снайдером и Перт для изучения мозговых рецепторов, до сих пор является центральным при неврологических исследованиях. Для связывания с рецепторами используют опиаты, меченные высоко радиоактивными изотопами. Затем клетки быстро промывают, так что остаются лишь те опиатные молекулы, которые связались с рецепторами. Отмывают также неспецифические опиаты, слабо связывающиеся с клетками любой ткани, после чего можно идентифицировать центры связывания и охарактеризовать рецепторы.

Снайдер убежден, что красота эксперимента — это ключ хорошего исследования. «Если вы можете ставить по эксперименту в день, то за 10 дней успеете проверить 10 идей, и, возможно, одна из них окажется верной. Тогда, значит, вам удалось попасть в точку». Как он говорит, такая стратегия исследований была едва ли не самым ценным из того, чему его научил Аксельрод.

Вскоре после открытия рецепторов опиоидов Дж. Хьюз, работающий в настоящее время в Парк-Дейвисе в Великобритании, и Х. Костерлиц из Абердинского университета идентифицировали природные эндогенные обезболиватели, опередив Перт и Снайдера, торые опубликовали сход-

ные результаты несколькими месяцами позднее. В 1978 г. за работы по энкефалинам и эндорфинам Снайдер, Хьюз и Костерлиц разделили между собой премию Альберта Ласкера по фундаментальным медикобиологическим исследованиям.

Перт, которая не была удостоена такой чести, заявила, что это дискриминация по отношению к женщине, так как она была первым автором в статье о рецепторах опиоидов, опубликованной в 1973 г. При всем своем уважении к Снайдеру как к учителю она остается убежденной, что подобная дискриминация существует: «В научной иерархии женщины занимают нижние ступени, и в этом отношении ничего не меняется». По поводу претензий Перт Снайдер только пожимает плечами. «В действительности тут нет никакого противопоставления», — говорит он своим мягким монотонным голосом, похвалив работу Перт и отметив, что в каждом открытии принимает участие множество студентов и сотрудников.

Снайдер упорно продолжает исследование с использованием классического метода связывания рецепторов. К примеру, в настоящее время в его лаборатории изучаются рецепторы бензодиазепинов, с которыми связывается такой известный лекарственный препарат, как валлиум (седуксен). В 1982 г. он и смелые предприниматели Давид и Исаак Блеч основали биотехнологическую фирму Nova Pharmaceutical в Балтиморе. Пока эта фирма еще не производит лекарственных препаратов, основанных на связывании рецепторов, но, по словам Снайдера, ряд таких препаратов проходит клинические испытания.

Больше всего волнует его сегодня совершенно новая идея. Снайдер с учениками обнаружили, похоже, новый класс нейромедиаторов, не взаимодействующих с известными рецепторами. Судя по их данным, некоторые высокореактивные соединения, такие как окись азота и окись углерода, могут играть более важную роль, чем просто загрязнение воздуха: по-видимому, они диффундируют от одной нервной клетки к другой, обеспечивая передачу сигналов в обход обычного рецепторного механизма.

Лет десять назад окись азота была обнаружена в клетках эндотелия, выстилающих кровеносные сосуды, и первоначально получила название эндотелиального расслабляющего фактора. Она диффундирует от стенок кровеносных сосудов к примыкающим мышцам, приводя к их расслаблению и расширению кровеносных сосудов. Установлено также, что это

соединение, время полураспада которого в организме составляет 5—10 секунд, является активным метаболитом нитроглицерина, чем, возможно, и объясняется его эффективность при сердечных заболеваниях.

«Мы просто не могли не взяться за изучение этого, — говорит Снайдер о себе и своем ученике Д. Бредте. — Речь идет не больше не меньше как о новом виде молекул-посредников». Они задались вопросом, образуется ли окись азота в мозге (эту идею предложили Дж. Гартуэйт из Ливерпульского университета и С. Монсада из английской фирмы Wellcome), и какова ее роль.

Разработав простой метод анализа, Снайдер и Бредт сумели измерить уровень соединения, являющегося побочным продуктом образования окиси азота и обладающего более длительным временем полураспада. Они обнаружили, что окись азота действительно содержится в мозге и что она связывается с железом в составе фермента, участвующего в синтезе циклического гуанозинмонофосфата (сGMP), который играет определенную роль в цепочке событий, вызываемых связыванием нейромедиатора с рецептором. Недавно им удалось идентифицировать специфические нейроны, производящие другой фермент синтеза окиси азота.

«Кто когда-нибудь слышал о железе в качестве рецептора?» — вопрошает Снайдер, словно комик, подающий реплику. «Это совершенно новая концепция осуществления контактов между нейронами, — говорит он, а его руки тем временем «странствуют» еще быстрее по креслу, по дужкам очков, по волосам. — Это самое потрясающее из того, что я видел, может быть, за 10 лет: вероятно, новый биологический принцип действия».

Снайдер с трудом сдерживает свой энтузиазм. Поскольку окись азота явно играет важную роль в регуляции кровяного давления, он видит здесь связь с генетическими отклонениями, обуславливающими гипертензию. Недавно его сотрудники нашли доказательство того, что окись углерода может действовать аналогично окиси азота.

По словам Снайдера, мысль искать окись азота в мозге является прекрасным примером того, как в нейрологических исследованиях используются открытия в других областях науки, что, как он полагает, служит источником вдохновения наряду с догадками и идеями, возникающими у его учеников.

Недавно было сделано еще одно открытие, которое пока не столь понят-

но, как «дело» с окисью азота. Оно касается культивирования нейронов человека *in vitro*. Четыре года назад в лаборатории Снайдера была получена ткань коры головного мозга полторагодовалого ребенка, оперированного по поводу мегакцефалии. В норме нейроны не делятся, но данные нейроны размножались и продолжают расти в культуре, хотя до сих пор не ясно, почему и как это происходит. «Мы отправили эти клетки на исследование в более чем 200 лабораторий, — говорит Снайдер. — Как выяснилось, они обладают всеми характерными свойствами нейронов и могут выполнять все их функции».

Снайдер более чем оживленно и уж никак не расслабленно описывает свою гипотезу. Он надеется, что нейроны, растущие в культуре, можно будет использовать в качестве трансплантатов для мозга, имея в виду дискуссии вокруг проблемы пересадки эмбриональных тканей. Вместо клеток человеческого плода, возможно, удастся имплантировать такие нейроны, например, при повреждении мозга или болезни Альцгеймера. Снайдер сообщил, что его сотрудники уже провели успешные трансплантации на крысах и планируют через несколько месяцев начать эксперименты на обезьянах.

Мысли о новом красивом эксперименте никогда не покидают Снайдера. В ответ на вопрос о возможной связи между умственной отсталостью, которой может сопровождаться дефицит железа, и важностью железа для центров связывания окиси азота у Снайдера движения рук и глаз замедляются, однако его голос усиливается почти до крика, когда он бросается объяснять биохимические детали метаболизма железа, окиси азота и сGMP. «Это же очень легко проверить!» — восклицает он.

НАПОМИНАЕМ АДРЕСА МАГАЗИНОВ — ОПОРНЫХ ПУНКТОВ ИЗДАТЕЛЬСТВА «МИР»

141908 Дубна,
ул. Векслера, 11,
головной магазин

630091 Новосибирск,
Красный просп., 60,
магазин № 7

142292 Пущино-на-Оке,
просп. Науки,
магазин № 7



Вниманию издателей!

ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Теория и приложения

В 2-х книгах

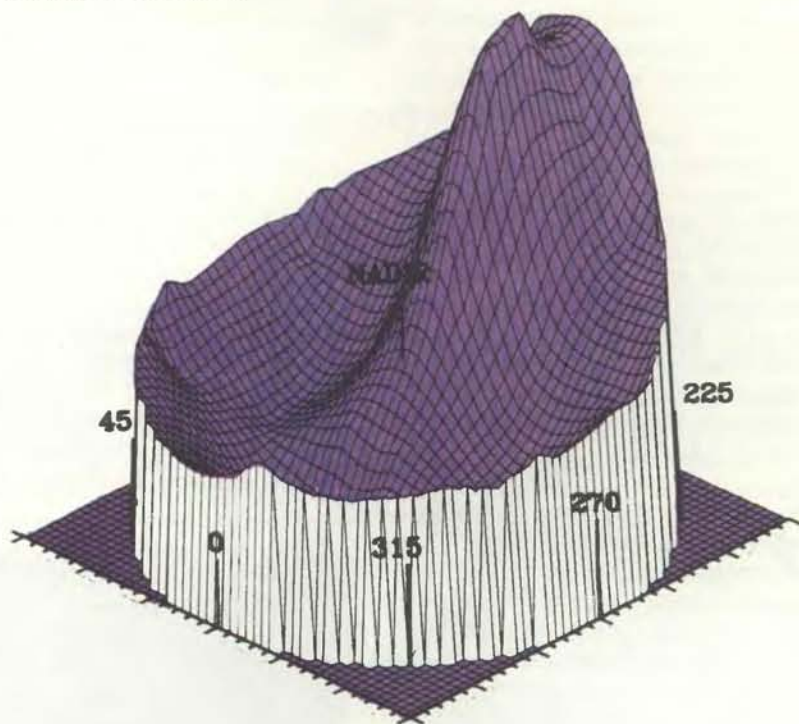
Перевод с английского

Под ред. Х. АСРАРА

В коллективной монографии специалистов США рассмотрены практически все составные части проблемы дистанционного зондирования. Она ориентирована на вопросы взаимодействия излучения с атмосферой и земной поверхностью и развитие инструментальной базы соответствующих исследований. В книге 1 рассматриваются полевые эксперименты, тео-

рии переноса излучения, математическая постановка задачи восстановления параметров состояния почв и растительности, а также методы измерения спектральной отражательной способности. В книге 2 рассматриваются атмосферная коррекция данных дистанционного зондирования, приложения разработанных методов к исследованиям лесных экосистем, прибрежных зон и геологических образований, количественные характеристики оценки данных дистанционных измерений в инфракрасной области спектра с точки зрения изучения баланса энергии на земной поверхности, эвапотранспирации растительности и углеродного обмена для различных экосистем Земли.

Для специалистов в области геофизики, биологии, агрометеорологии, почвоведения, экологии и др., а также для студентов соответствующих специальностей.



67 л. Цена 46 р. 90 к. за комплект

Готовится к выпуску в 1993 г.



Северная Америка в доисторический период; система разломов в Калифорнии



ФИЛИП MORRISON

Стивен Уильямс. ФАНТАСТИЧЕСКАЯ АРХЕОЛОГИЯ: НЕВЕРОЯТНЫЕ НАХОДКИ В СЕВЕРНОЙ АМЕРИКЕ, ОТНОСЯЩИЕСЯ К ДОИСТОРИЧЕСКОМУ ПЕРИОДУ.

FANTASTIC ARCHAEOLOGY: THE WILD SIDE OF NORTH AMERICAN PREHISTORY, by Stephen Williams, University of Pennsylvania Press, 1991 (\$ 28.95; paperback, \$ 14.95).

ЭТА ХОРОШО иллюстрированная книга написана живым, доступным языком и с присущим автору чувством юмора. Без этих качеств читателя, отправившегося в столь далекое путешествие к когда-то диким берегам Северной Америки, могло бы постигнуть разочарование. Стивен Уильямс, археолог и антрополог из Гарвардского университета, начинает книгу такими словами: «Без фантазии науке нечего было бы исследовать». Действительно, богатое воображение и чувство юмора — это первое, что необходимо ученому, однако сама наука все же основана на строгом анализе фактов и достоверном изложении результатов исследований.

В 12 главах книги рассказывается об удивительных находках в Северной Америке, относящихся к доисторическому периоду. Одна из древнейших находок обнаружена в кургане Грейв-Крик — археологическом памятнике недалеко от берегов реки Огайо, в 20 км к югу от Уилинга. Землевладельцы, раскопавшие в 1838 г. этот 20-метровый курган, обнаружили под ним захоронения и погребальный инвентарь культуры Адена, датируемую в настоящее время примерно 400 г. до н. э. Когда-то ученые предположили, ссылаясь на данные Геродота о скифских захоронениях и на более недавние находки в Восточной Европе, что под этими курганами похоронены останки властителя и его слуг. Сейчас к этому мало что можно добавить, несмотря на многие другие находки, относящиеся к культуре Адена.

Через несколько лет после открытия кургана один знаменитый путешественник обратил внимание на удивительный предмет, затерявшийся среди сломанных каменных орудий и других второстепенных артефактов, собранных вблизи захоронения. То был неизвестно откуда взявшийся камень (возможно, его привезли в тачке вместе с землей), на котором имелась



ПОДДЕЛКА «Мичиганской древности», на которой изображен Ноев ковчег и глифические надписи. «Артефакт», возраст которого оценивается предположительно в тысячи лет, вероятно, выгравирован в 1910 г. Джеймсом Скотфордом на куске сланца. Справа сверху видно клеймо автора.

надпись в три строки из 25 букв и небольшой рисунок. В надписи можно было различить несколько букв X, а все буквы, несомненно, принадлежали определенному алфавиту. До сих пор она остается уникальной, поскольку ее автор не оставил нам других посланий.

В последующие десятилетия ученые поведали нам, о чем говорит эта надпись, но каждый из них давал свой вариант ее расшифровки. Согласно одному из них, надпись гласит: «Вождь переселенцев... утвердил эти законы навсегда», согласно другому — «Могилы того, кто был предательски убит здесь. Да отомстит за него Господь и покарает его убийцу». А вот третий вариант (в двойном переводе с французского): «Изреченное тобой становится законом... в твоём буйном роде». Из-за отсутствия «лингвистического ключа» такое разночтение вряд ли заслуживает критики.

Однако кроме надписи у нас есть еще и сам камень. Это не какая-либо каменная табличка с искусно вырезанными буквами, а всего лишь плоский удлиненный камень размером менее двух дюймов. Надпись на нем была сделана, вероятно, ногтем или острием ножа в то время, когда был возведен курган.

Четвертый вариант расшифровки надписи был опубликован в 1976 г. Барри Феллом, неумолимым специалистом по эпиграфике, в прошлом биологом из Гарвардского университета. Фелл считает, что буквы в этой надписи принадлежат алфавиту, использовавшемуся в Испании в первом тысячелетии до н. э. (финикийский язык). Согласно Феллу, надпись гласит: «Высокий курган возведен для Тасах / Эту плитку / [Его] королева приказала изготовить.»

Обратимся теперь к другой находке, сделанной в 90-х годах прошлого столетия. Один профессор химии из Гарвардского университета, получивший патент на изобретение пекарного порошка и сколотивший состояние благодаря большому спросу на эту продукцию, переехал жить в Кембридж, в один из прекрасных домов неподалеку от дома, где жил Лонгфелло. Однажды он решил заняться поисками Винланда, описанного в сагах. (Пройдите сегодня несколько кварталов по одной из улиц шумной набережной, и вы увидите возведенный сто лет назад монумент из камня и бронзы, рядом с которым находился дом самого Лефа Счастливого.) Профессору повезло: столь долго разыскиваемый Винланд оказался как раз по соседству с его домом. Об этом свидетельствуют несколько артефактов, обнаруженных при раскопках у

стен одного из зданий 18 в. Наш профессор-энтузиаст опубликовал с полдюжины книг в оправдание своих находок, а также предположения, что вверх по реке викинги когда-то построили Норвежский город (ныне бесследно исчезнувший), где жили около 10 тыс. человек.

С 1960 г. мы знаем, что викинги когда-то достигли берегов Северной Америки и основали там свое поселение. В Северном Ньюфаундленде была обнаружена группа домов из дерна и домашняя утварь, очень схожие с теми, что археологи находят в Гренландии. Ни у кого не вызывает сейчас сомнения то, что комплекс в Анс-о-Медоу был поселением викингов.

В книге говорится и о множестве других археологических находок, обнаруженных в Северной Америке. Над некоторыми из них ученым пришлось поломать голову, чтобы установить, являются ли они подлинными, т. е. местного происхождения, или же были привезены в Новый Свет европейцами. В целом это прекрасное издание можно считать красноречивым и подробным обзором событий доисторического периода в Северной Америке.

СИСТЕМА РАЗЛОМОВ САН-АНДРЕАС, КАЛИФОРНИЯ. Под редакцией Роберта И. Уоллеса

THE SAN ANDREAS FAULT SYSTEM, CALIFORNIA, edited by Robert E. Wallace. U.C. Geological Survey Professional Paper 1515, 1990. Books and Open-File Reports Section (paperbound, \$ 20, postpaid)

Обзор истории, геологии, геоморфологии, геофизики и сейсмологии самой известной в мире границы тектонических плит — так гласит подзаголовок в лучших традициях выразительности. Это объемистое издание наполнено цветными картами, фотографиями, разрезами, которые наглядно иллюстрируют 10 глав, написанных специалистами Геологической службы США. Авторы концентрируют внимание на самой системе разломов, а не на проблемах безопасности населения, которые стимулировали ширококомасштабное исследование на суше движений в масштабе целых континентов. Читатели с гуманитарной подготовкой, но интересующиеся геологией, легко поймут этот текст; если они калифорнийцы, то они познакомятся с удивительными местными явлениями, описанными на многих страницах.

Всего лишь 20 лет назад многих геологов «возмушал» метод исследования разлома Сан-Андреас «путем ис-

пользования данных, собранных более чем за 7000 км от самой Калифорнии». Сейчас всем известно, что сложный ветвящийся шрам, который рассекает половину длины «Золотого штата», представляет собой часть глобальной системы, зону смещения по разлому между плитой с континентом Северной Америки и Тихоокеанской плитой. Сам редактор книги с фотоаппаратом в руках исследовал весь разлом на суше, чтобы дать возможность читателям полюбоваться двумя десятками сказочных ландшафтов, протяженными долинами, вытянутыми озерами и хребтами, смещенными руслами водотоков, которые фиксируют прерывистые движения вдоль разлома.

Геологи внимательно следят за разломом. Целая сеть из нескольких сотен сейсмографов, связанных телеметрической аппаратурой, фиксирует даже вибрацию, возникающую во время малейших смещений по разлому. Если учитывать сейсмические шорохи, энергия которых в сто миллионов раз меньше энергии землетрясений, угрожающих безопасности городов, то можно зарегистрировать более одного землетрясения в час на протяжении многих лет. Сгущения точек, которые соответствуют центрам землетрясений, сливаются в густые рои в таких местах, как Парк-филд или озеро Моно.

Геологи всегда обращаются к прошлому. На одном цветном рисунке изображена стенка траншеи глубиной около 6 м, находящейся примерно в 56 км северо-восточнее Лос-Анджелеса. Десяток слоев торфа, алевролита и галечных песков повсеместно срезаются вертикальными смещениями амплитудой примерно в 30 см, что является результатом подвижек вдоль разлома, которые происходили в течение многих лет. Результаты изотопно-углеродного анализа фиксируют даты подвижек; но здесь никак не проявляется сильнейший толчок Форт-Теджон 1857 г., убеждая нас в

том, что поверхность указанной стенки соответствует образованиям, возникшим после этого мощного события. Но десяток более ранних землетрясений зафиксирован за последние 1200 лет в виде неправильных скопленных знаков, соответствующих преимущественно горизонтальным подвижкам, происходящим со средней скоростью примерно 25 мм в год. (Океанская плита перемещается примерно в два раза быстрее; такая разница установлена во многих других разломах в западной части страны.) Аналогичные логические рассуждения справедливы и для больших масштабов пространства и времени. Геологи проследили относительное смещение двух частей единого вулканического потока, одна из них была сдвинута на север вдоль разлома на 320 км от пустыни Моуджейв до горы Пинакль в Береговом хребте.

Вся четырехразмерная система Сан-Андреас исследуется на предмет проявления упругих движений, подземных волн, которые оказывают разрушительное воздействие на города. Естественно, при этом пытаются установить баланс энергии. Но волны, распространяющиеся от известных смещений по разлому, оказываются значительно меньшей мощности, чем можно было бы предсказать, экстраполируя эксперименты с породами в лаборатории. Тепло, возникающее на глубине в результате трения при смещении по разлому, также не было выявлено. Не были обнаружены проявления вулканизма на самом разломе. Отсутствует даже малейший пик, соответствующий увеличению потока тепла, который прогнозировался прямо на разломе, хотя его и пытались обнаружить. Может быть смазка? Или нагрузка сбалансирована за счет сжатия пор? Имеются ли какие-нибудь направления с очень ослабленными свойствами пород? Предстоит разгадать еще много загадок этой самой известной в мире границы тектонических плит.

Библиография

АНТИНАУЧНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В СОВЕТСКОМ СОЮЗЕ

Эрих Фромм. БЕГСТВО ОТ СВОБОДЫ. — М.: Прогресс 1990.

Клод Леви-Стросс. МИФ И СМЫСЛ. Ньюпорт. 1987.

ВЕХИ, репринтное издание. — М.: Новости, 1990.

Корякин Ю. ДОСТОЕВСКИЙ В КАНУН XXI ВЕКА. — М.: 1989.

Раушенбах Б. В. РЕЛИГИЯ И МО-

РАЛЬ, Знамя, № 1, 1991.

Торопов В. ПОСЛЕ ПОРАЖЕНИЯ, Нева, № 6, 1990.

СТАЛКИВАЮЩИЕСЯ ГАЛАКТИКИ

MERGERS AND SOME CONSEQUENCES. Alar Toomre in *The Evolution of Galaxies and Stellar Populations*. Yale University Observatory, 1977.

COLLIDING AND MERGING GALAXIES. François Schweizer in *Science*, Vol. 231, pages 227-234; January 17, 1986.

FORMATION OF SHELL GALAXIES, Part 1: Spherical Potentials. Lars Hernquist and Peter Quinn in *Astrophysical Journal*, Vol. 331, No. 2, pages 682-698; August 15, 1988.

EVOLUTION OF COMPACT GROUPS AND THE FORMATION OF ELLIPTICAL GALAXIES. Joshua Barnes in *Nature*, Vol. 338, No. 6211, pages 123-126; March 9, 1989.

COLLIDING GALAXIES: THE UNIVERSE IN TURMOIL. Barry Parker. Plenum Press, 1990.

DYNAMICA AND INTERACTIONS IN GALAXIES. Edited by Roland Wielen. Springer-Verlag, 1990.

ТЕЛОМЕРА ЧЕЛОВЕКА

A HIGHLY CONSERVED REPETITIVE DNA SEQUENCE, (TTAGGG)_n, PRESENT AT THE TELOMERES OF HUMAN CHROMOSOMES. Robert K. Moyzis, Judy M. Buckingham, L. Scott Cram, Maria Dani, Larry L. Deaven, Myrna D. Jones, Julianne Meyne, Robert L. Ratliff and Jung-Rung Wu in *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 85, No. 18, pages 6622-6626; September 1988.

CLONING HUMAN TELOMERIC DNA FRAGMENTS INTO *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* USING A YEAST-ARTIFICIAL-CHROMOSOME VECTOR. Harold C. Riethman, Robert K. Moyzis, Julianne Meyne, David T. Burke and Maynard V. Olson in *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 86, No. 16, pages 6240-6244; August 1989.

STRUCTURE AND FUNCTION OF TELOMERES. Virginia A. Zakian in *Annual Review of Genetics*, Vol. 23, pages 579-604; 1989.

СЛЕДЫ И ИЗОБРАЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

GRAPHICAL CONCEPTS FOR THE REPRESENTATION OF EVENTS IN HIGH-ENERGY PHYSICS. H. Drevermann and C. Grab in *International Journal of Modern Physics C*, Vol. 1, No. 1, pages 147-163; 1990.

PARTICLE PHYSICS AFTER A YEAR OF LEP. David J. Miller in *Nature*, Vol. 349, pages 379-387; January 31, 1991.

БИОСЕНСОРЫ

FIBER-OPTIC SENSORS FOR BIOMEDICAL APPLICATIONS. John I. Peterson and Gerald G. Vurek in *Science*, Vol. 224, pages 123-127; April 13, 1984.

CHEMICAL SENSING IN PROCESS ANALYSIS. T. Hirschfeld, J. B. Callis and B. R. Kowalski in *Science*, Vol. 226, pages 312-318; October 19, 1984.

A MINIATURE OPTICAL GLUCOSE SENSOR BASED ON AFFINITY BINDING. Sohrab Mansouri and Jerome S. Schultz in *Bio/Technology*, Vol. 2, No. 10, pages 885-890; October 1984.

BIOSENSORS; FUNDAMENTALS AND APPLICATIONS. Edited by Anthony P. F. Turner, Isao Karube and George S. Wilson. Oxford University Press, 1987.

BIOSENSORS. Garry A. Rechnitz in *Chemical and Engineering News*, Vol. 66, No. 36, pages 24-31; September 5, 1988.

IMMOBILIZED ENZYMES AND CELLS, Part D. Edited by Klaus Mosbach. *Methods in Enzymology*, Vol. 137, Academic Press, 1988.

MOLECULAR ELECTRONICS: BIOSENSORS AND BIOCOMPUTERS. Edited by Felix T. Hong. Plenum Press, 1989.

PRINCIPLES OF CHEMICAL SENSORS. Juri Janata. Plenum Press, 1990.

BIOSENSORS. Elizabeth A. H. Hall. Open University Press, 1990.

ПЧЕЛИНЫЕ ВОЛКИ

THE ANIMAL IN ITS WORLD, Vol. 1. Niko Tinbergen. Harvard University Press, 1972.

VOLATILES FROM MANDIBULAR GLANDS OF MALE BEEWOLVES (HYMENOPTERA: SPHECIDAE, *PHILANTHUS*) AND THEIR POSSIBLE ROLES. J. O. Schmidt, K. M. O'Neill, H. M. Fales, C. A. McDaniel and R. W. Howard in *Journal of Chemical Ecology*, Vol. 11, No. 7, pages 895-901; July 1985.

VENOMS OF THE HYMENOPTERA: BIOCHEMICAL, PHARMACOLOGICAL AND BEHAVIOURAL ASPECTS. Edited by Tom Piek. Academic Press, 1986.

THE NATURAL HISTORY AND BEHAVIOUR OF NORTH AMERICAN BEEWOLVES, Howard E. Evans and Kevin M. O'Neill. Cornell University Press, 1988.

АНТИХАОС И ПРИСПОСОБЛЕНИЕ

PHASE-TRANSITIONS IN TWO DIMENSIONAL KAUFFMAN CELLULAR AUTOMATA. B. Derrida and D. Stauffer in *Europhysics Letters*, Vol. 2, No. 10, pages 739-745; 1986.

RANDOM BOOLEAN NETWORKS: ANALOGY WITH PERCOLATION. D. Stauffer in *Philosophical Magazine B*, Vol. 56, No. 6, pages 901-916; 1987.

LECTURES IN THE SCIENCES OF COMPLEXITY. Edited by Daniel L. Stein. Addison-Wesley, 1989.

ORIGINS OF ORDER: SELF-ORGANIZATION AND SELECTION IN EVOLUTION. Stuart A. Kauffman. Oxford University Press (in press).

УМНЫЕ ГЕНЫ

HOW EMBRYOS WORK: A COMPARATIVE VIEW OF DIVERSE MODES OF CELL FATE SPECIFICATION. Eric H. Davidson in *Development*, Vol. 108, No. 3, pages 365-389; March 1990.

ACTIVATORS AND TARGETS. Mark Ptashne and Alexander A. F. Gann in *Nature*, Vol. 346, No. 6282, pages 329-331; July 26, 1990.

NUCLEOSOMES: REGULATORS OF TRANSCRIPTION. Michael Grunstein in *Trends in Genetics*, Vol. 6, No. 12, pages 395-400; December 1990.

PATTERN FORMATION DURING ANIMAL DEVELOPMENT. Douglas A. Melton in *Science*, Vol. 252, pages 234-241; April 12; 1991.

Де Робертис Э., Оливер Г., Райт К. ГОМЕОЗИСНЫЕ ГЕНЫ И ПЛАН СТРОЕНИЯ ТЕЛА У ПОЗВОНОЧНЫХ ЖИВОТНЫХ, «В мире науки», № 9, 1990.

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА

FRactal Geometry-Mathematical Foundations and Applications. Kenneth Falconer. John Wiley and Sons, 1990.

В МИРЕ НАУКИ

Учредитель:
ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»
Подписано в печать 24.10.91.
По оригинал-макету. Формат 60 × 90 1/4.
Гарнитуры таймс, гелиос.
Офсетная печать.
Объем 6,0 бум. л.
Бумага офсетная №1.
Усл.-печ. л. 12,0.
Уч.-изд. л. 15,62.
Усл. кр.-отт. 50,0.
Изд. № 25/8268. Заказ №945
Тираж 12780 экз. Цена 3 р.
Издательство «Мир»
Госкомпечати СССР
129820, ГСП, Москва, И-110,
1-й Рижский пер., 2.
Набрано в Межиздательском
фотонаборном центре
издательства «Мир»
Типография В/О «Внешторгиздат»
Госкомпечати СССР
127576, Москва, Илимская, 7



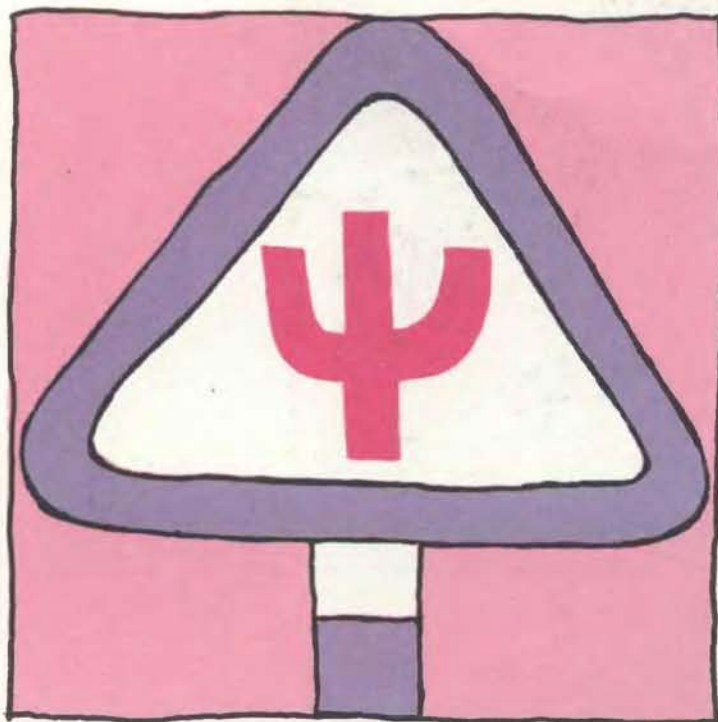
Внимание читателей!

Ж. Годфруа

ЧТО ТАКОЕ ПСИХОЛОГИЯ

В 2-х томах

Перевод с французского



Книга

канадского автора — учебник общей психологии с основами физиологии высшей нервной деятельности. В первом томе рассмотрены подходы и ме-

тоды психологии, уровни сознания, эмоции и мотивация, научение, память, интеллект и творчество. Второй том посвящен проблемам социальной психологии (становление личности, социальное поведение, столкновение социального и биологического в человеке, нарушения психики), а также биологические основы поведения.

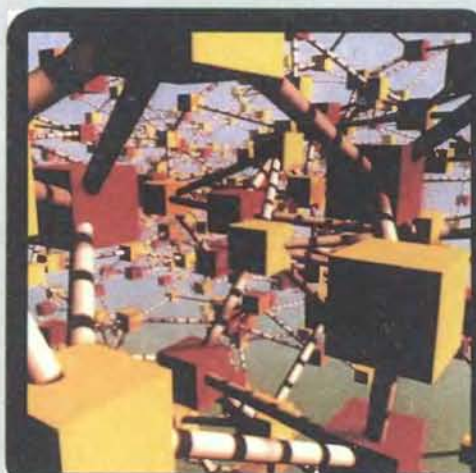
Для студентов — биологов, психологов, медиков, педагогов — и всех читателей, интересующихся вопросами психологии.

1992 г. 62 л. Цена 7 р. 90 к. за комплект

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



В следующем номере:



ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ, КОМПЬЮТЕРЫ И СЕТИ

СЕТИ

КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ В 90-Х ГОДАХ

КОМПЬЮТЕРЫ XXI ВЕКА

ПРОДУКЦИЯ И УСЛУГИ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

КОМПЬЮТЕРЫ, СЕТИ И ТРУДОВАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

КОМПЬЮТЕРЫ, СЕТИ И КОРПОРАЦИЯ

КОМПЬЮТЕРЫ, СЕТИ И СИСТЕМА ОБРАЗОВАНИЯ

КОМПЬЮТЕРЫ, СЕТИ И СОЦИАЛЬНАЯ ПОЛИТИКА
