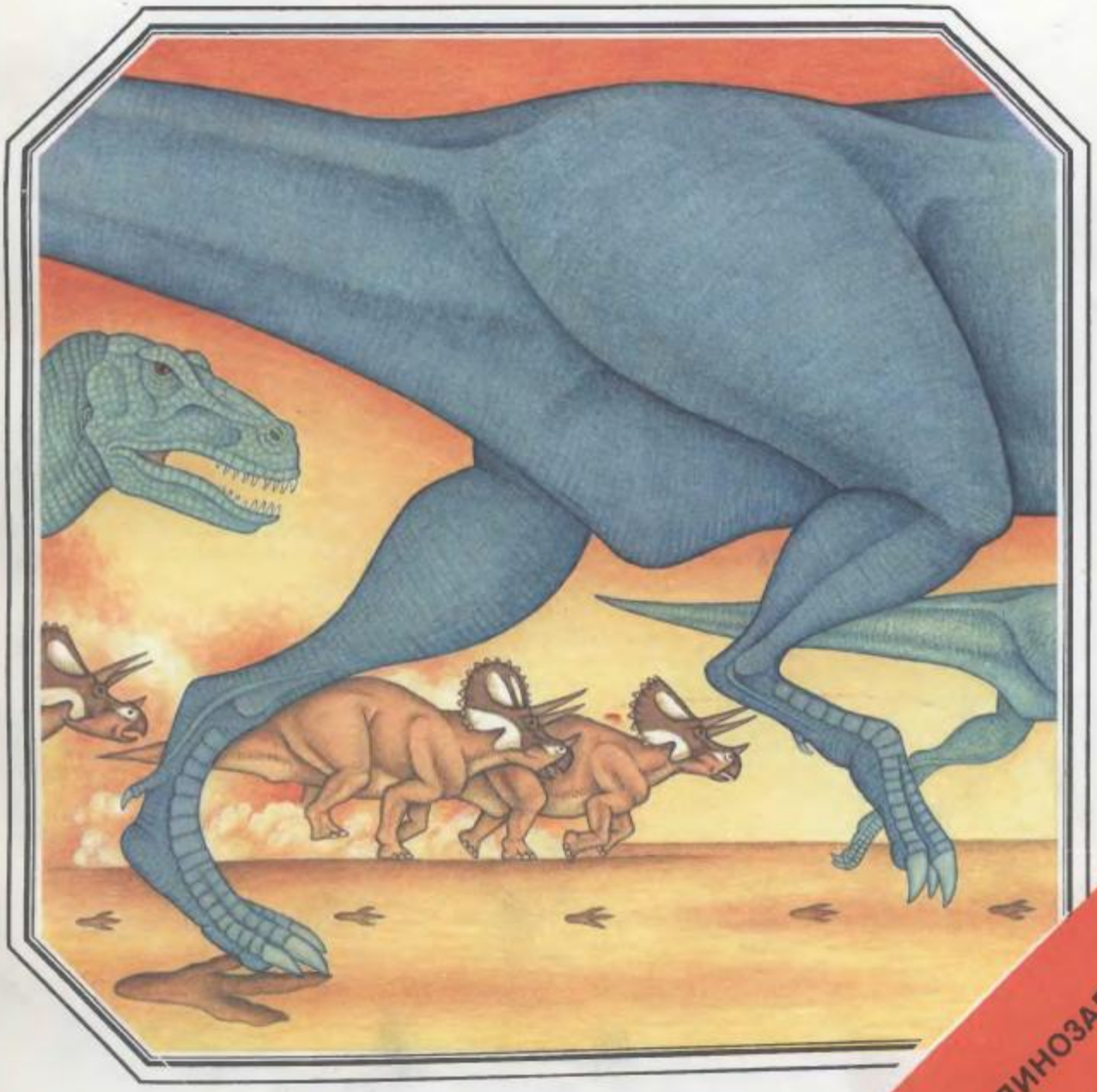
ISSN 0208-0621

В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC AMERICAN

Издание на русском языке



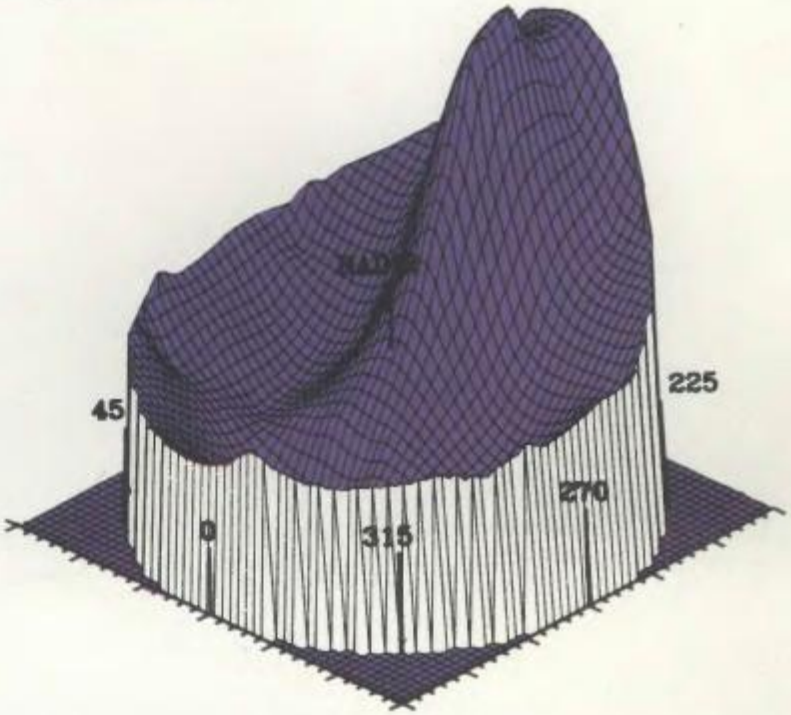
КАК БЕГАЛИ ДИНОЗАВРЫ

Июнь 6 1991

Вниманию читателей!

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, теории 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.

1993 г. 67 л. Цена 9 р. 90 к. за комплект

Эту книгу вы сможете заказать в магазинах научно-технической литературы

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»

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»

№ 6 ИЮНЬ 1991

В номере:

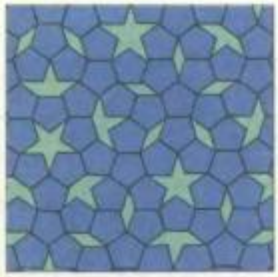
СТАТЬИ

(Scientific American, April 1991, Vol. 264, No. 4)

6 Реальная стоимость энергии

Гарольд М. Хаббард

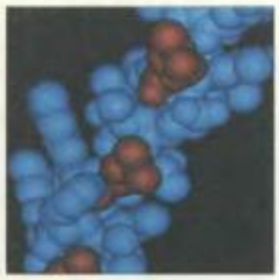
Изменение рыночных цен на энергию с учетом возмещения скрытых издержек, связанных с ее производством и использованием, станет одной из крупнейших проблем ближайших десятилетий



14 Структура квазикристаллов

Питер В. Стивенз, Алан И. Гоулдман

Квазикристаллы представляют собой структуры, непохожие ни на упорядоченные кристаллы, ни на аморфные тела типа стекол. Многие особенности квазикристаллов можно объяснить, но их атомная структура по-прежнему остается загадкой



22 Молекулярные застежки-«молнии» и регуляция генов

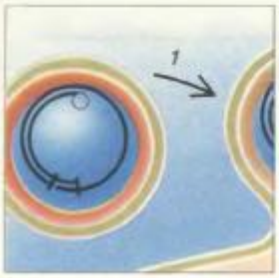
Стивен Лэнир Макнайт

Регулярно расположенные остатки аминокислоты лейцина могут соединять две белковые молекулы наподобие застежки-«молнии». Такой механизм играет роль во «включении» и «выключении» генов

32 Бесстолкновительные ударные волны

Роальд З. Сагдеев, Чарлз Ф. Кеннел

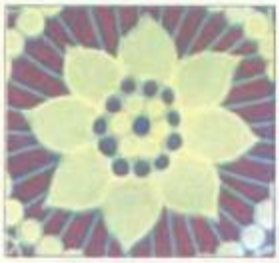
К удивлению многих теоретиков, ударные волны возникают даже в чрезвычайно разреженном межпланетном пространстве. Эти ударные волны определяют специфику процессов в космическом пространстве и лежат в основе разнообразных астрофизических явлений



42 Вирус гепатита B

Пьер Тиолле, Мари-Анник Буэндиа

Этот необычный вирус вызывает болезни печени и распространенную форму рака. Новые вакцины, полученные с помощью методов генной инженерии, дают надежду в конце концов победить и то и другое



50 Наука в картинках

Фотохромные и светочувствительные стекла

Дональд М. Троттер-младший

В отличие от обычного стекла фотохромные и светочувствительные стекла на облучение их светом реагируют изменением структуры, что находит применение в электронике, оптике и декоративном искусстве

58 Как бегали динозавры

Р. Макнейлл Александер

Были ли гиганты мезозойской эры неповоротливыми созданиями или огромными бегающими машинами? Ответ на этот вопрос можно получить, обратившись к методам современной физики и техники

66 Тенденции развития лингвистики

Трудные слова

Филип Е. Росс

Как далеко можно проследить историю языка? Радикальные лингвисты относят ее начало к каменному веку. Приверженцы традиционной точки зрения с ними не согласны

РУБРИКИ

4 Об авторах

5 50 и 100 лет назад

12, 30, 40, 49, 56, 65, 76, 81, 84 Наука и общество

78 Занимательная математика

82 Книги

94 Эссе

95 Библиография

SCIENTIFIC AMERICAN

Jonathan Piel
EDITOR
John J. Moeling, Jr.
PUBLISHER
BOARD OF EDITORS
Alan Hall, Michelle Press
Timothy M. Beardsley
Elizabeth Corcoran
Deborah Erickson
Marguerite Holloway
John Horgan,
Philip Morrison (BOOK EDITOR),
Corey S. Powell
John Rennie, Philip E. Ross
Ricki L. Rusting, Russell Ruthen
Gary Stix, Paul Wallich
Philip M. Yam

Samuel L. Howard
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. Желоховцева
РУКОВОДИТЕЛЬ ГРУППЫ ФОТОНАБОРА
В. С. Галкин
ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР
А. В. Лыткина
КОРРЕКТОР
Р. Л. Вибке
ОФОРМЛЕНИЕ ОБЛОЖКИ РУССКОГО ИЗДАНИЯ
М. Г. Жуков
ШРИФТОВЫЕ РАБОТЫ
В. В. Ефимов

АДРЕС РЕДАКЦИИ
129820, Москва, ГСП, 1-й Рижский пер., 2
ТЕЛЕФОН РЕДАКЦИИ
286.2588

© перевод на русский язык и оформление, «Мир», 1991

На обложке

КАК БЕГАЛИ ДИНОЗАВРЫ

На обложке показаны хищный динозавр *Tyrannosaurus* и растительноядный *Triceratops* (на заднем плане). Поскольку у нас нет возможности увидеть живьем этих огромных созданий мезозойской эры, мы не можем сказать, как быстро они передвигались. Однако тщательные расчеты, основанные на методах физики и строительной механики, помогут нам ответить на этот вопрос (см. статью Р. Макнейлла Александера «Как бегали динозавры» на с. 58)

Иллюстрации

ОБЛОЖКА: рисунок Patricia J. Wynne

СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК
7	Witt/SIPA
8—9	Jason Küffer (*вверху*), Runk Schoenberger, Grant Heilman Photography, Inc. (*внизу*)
10	Jason Küffer
14	Kenji Hiraga, Tohoku University
15	An Pang Tsai, Akihisa Inoue, Tsuyoshi Masumoto, Tohoku University
16—21	Laurie Grace
23	Steven Lanier McKnight
24	George V. Kelvin
25	Steven Lanier McKnight (*слева*), George V. Kelvin (*справа*)
26	George V. Kelvin (*внизу* с разрешения Ted Abel, Tom Maniatis, Harvard University)
27	George V.Kelvin (*вверху*), Jason Küffer (*внизу*)
28	George V. Kelvin
33	George Retseck, с разрешения Bruce Tsurutani, Jet Propulsion Laboratory, Paul Rodriguez, Naval Research Laboratory
34, 35	George Retseck
36	Stewart Moses, TRW (*вверху*), Dennis Papadopoulos, Peter Cargill, University of Maryland, College Park (*внизу*)
37	George Retseck (*вверху*), Charles F. Kennel (*внизу*)
38	George Retseck (*слева*), Mount Wilson and Palomar Observatories (*справа*)
42	Pierre Tiollais
43	Tomo Narashima
44	Jason Küffer
45—47	Tomo Narashima
50—51	Corning, Inc.
52	Michael Goodman
53	Michael Goodman (*вверху слева*), Corning, Inc. (*вверху справа*), Frank J. Borkowski, Foto Forum (*внизу*)
54	Corning, Inc. (*вверху слева*), Peter Aldridge, Robin Revell, Corning, Inc. (*вверху справа*), Edward Keating (*внизу*)
55	Corning, Inc.
58—60	Patricia J. Wynne
61	American Museum of Natural History
62—64	Patricia J. Wynne
66—67	Ian Worpole
68—69	Laurie Grace
70—71	Tom Maday (*слева*), Moshe Milner/Sygma (*в центре*), Tom Zimberoff (*справа*)
73	Jason Küffer
75	Hank Iken
79, 80	Thomas C. Moore

Об авторах

Harold M. Hubbard "The Real Cost of Energy" (ГАРОЛЬД М. ХАББАРД «Реальная стоимость энергии») большую часть своей профессиональной деятельности посвятил исследованиям в области энергетики и экологии. Степень доктора в области химии получил в 1951 г. в Канзасском университете. В настоящее время — приглашенный старший сотрудник научного центра «Ресурсы для будущего» в Вашингтоне. Недавно ушел на пенсию с поста вице-президента Среднезападного научно-исследовательского института. С 1981 по 1990 г. был директором Института солнечной энергии. Автор выражает признательность Джулии А. Филлипс за помощь в подготовке данной статьи.

Peter W. Stephens, Alan I. Goldman "The Structure of Quasicrystals" (ПИТЕР В. СТИВЕНЗ, АЛАН И. ГОУЛДМАН «Структура квазикристаллов») много работали вместе в течение последних 10 лет и в настоящее время изучают квазикристаллы. Стивенз — профессор физики в Университете шт. Нью-Йорк в Стони-Брук. Недавно в течение года работал в Университете Тохоку в Японии, где проводил эксперименты, часть из которых описана в настоящей статье. Гоулдман — доцент физики в Университете шт. Айова, работает также в Эймсской лаборатории. После получения в 1984 г. степени доктора философии в Университете шт. Нью-Йорк, четыре года проработал в Брукхейвенской национальной лаборатории.

Steven Lanier McKnight "Molecular Zippers in Gene Regulation" (СТИВЕН ЛЭНИР МАКНАЙТ «Молекулярные застежки-"молнии" и регуляция генов») занимается исследовательской работой в отделе эмбриологии Института Карнеги в Балтиморе, а также в Медицинском институте Говарда Хьюза. Степень доктора философии в области биологии получил в Университете Виргинии в 1977 г. С тех пор является сотрудником Института Карнеги, за исключением 1981—84 гг., когда работал в Онкологическом центре Фреда Хатчинсона в Сиэтле.

Roald Z. Sagdeev, Charles F. Kennel "Collisionless Shock Waves" (РОАЛЬД ЗИННУРОВИЧ САГДЕЕВ, ЧАРЛЗ Ф. КЕННЕЛ «Бесстолкновительные ударные волны») — друзья и коллеги с тех пор, как в 1965 г. встретились в Международном центре теоретической физики. Сагдеев в 1955 г. окончил физический факультет Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. С 1961 по 1970 г. работал в Институте ядерной физики Сибирского отделения АН СССР. Степень доктора наук получил в 1963 г. С 1968 г. академик АН СССР. С 1973 по 1988 г. возглавлял Институт космических исследований АН СССР. Год назад он начал работать на физическом факультете Мэрилендского университета в Колледж-Парке. Кроме астрономических и физических исследований, Сагдеев внес вклад в разработку проблем ограничения вооружений, политологии и защиты окружающей среды. Кеннел — профессор физики Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе, а также консультант фирмы TRW Systems, где участвует в экспериментах по изучению космической плазмы. Он является также приглашенным сотрудником Геофизического института Университета Аляски в Фэрбанксе. Коллекционирует предметы культуры коренных жителей Аляски.

Pierre Tiollais, Marie-Annick Buendia "Hepatitis B Virus" (ПЬЕР ТИОЛЛЕ, МАРИ-АННИК БУЭНДИА «Вирус гепатита В») первыми применили технологию рекомбинантных ДНК для изучения вирусов гепатита. Тиолле получил степень доктора медицины в Парижском университете в 1968 г., после чего занялся изучением синтеза нуклеиновых кислот. Ему впервые удалось клонировать вирус гепатита В человека. В настоящее время Тиолле — профессор и директор принадлежащего Национальному институту здравоохранения и медицинских исследований отдела в Пастеровском институте, а также профессор в Парижском университете VII. Буэндиа получила докторскую степень по биохимии в 1977 г. в Парижском университете. Сейчас она директор по научным исследованиям Национального центра научных исследований при Пастеровском институте. Ее работы сыграли решающую роль в выяснении механизма развития рака под влиянием вируса гепатита.

Donald M. Trotter, Jr. "Photochromic and Photosensitive Glass" (ДОНАЛЬД М. ТРОТТЕР-младший «Фотохромные и светочувствительные стекла») в настоящее время работает старшим научным сотрудником в фирме Corning, Inc. Помимо исследований фотохромных и светочувствительных стекол несколько лет посвятил изучению электрических конденсаторов (см.: Д. Троттер-младший. Конденсаторы, «В мире науки», 1988 г., № 9). Степень доктора философии была присвоена Троттеру в Техасском университете в Остине, после чего он работал в Корнеллском университете. Увлекается научной фантастикой, опубликовал несколько коротких рассказов в этом жанре.

R. McNeill Alexander "How Dinosaurs Ran" (Р. МАКНЕЙЛЛ АЛЕКСАНДЕР «Как бегали динозавры») — профессор зоологии в Лидском университете (Великобритания). Интересуется механикой движения человека и животных, особенно бегом и прыжками; при исследованиях использует киносъемку, регистрацию сил и математическое моделирование. (Известно, что в один из экспериментов Александер включил свою семью — вместе с кенгуру, лягушками и собаками.) Он изучает прочность конечностей животных по отношению к силам, которые они должны выдерживать, а также зависимость строения конечностей и характера движения от различий в размерах.

Michael E. Porter "America's green Strategy" (МАЙКЛ Э. ПОРТЕР «Эссе. Зеленая стратегия США») — профессор Школы бизнеса Гарвардского университета, где возглавляет группу по конкуренции и стратегии.

НАПОМИНАЕМ АДРЕСА МАГАЗИНОВ — ОПОРНЫХ ПУНКТОВ ИЗДАТЕЛЬСТВА «МИР»

142393 Пущино-на-Оке,
просп. Науки,
магазин № 7

620151 Свердловск,
ул. Карла Либкнехта, 16,
магазин № 8
«Техническая книга»

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

454080 Челябинск,
просп. Ленина, 68,
«Дом книги»

720021 Фрунзе,
ул. Советская, 125,
магазин № 11
«Научно-техническая книга»

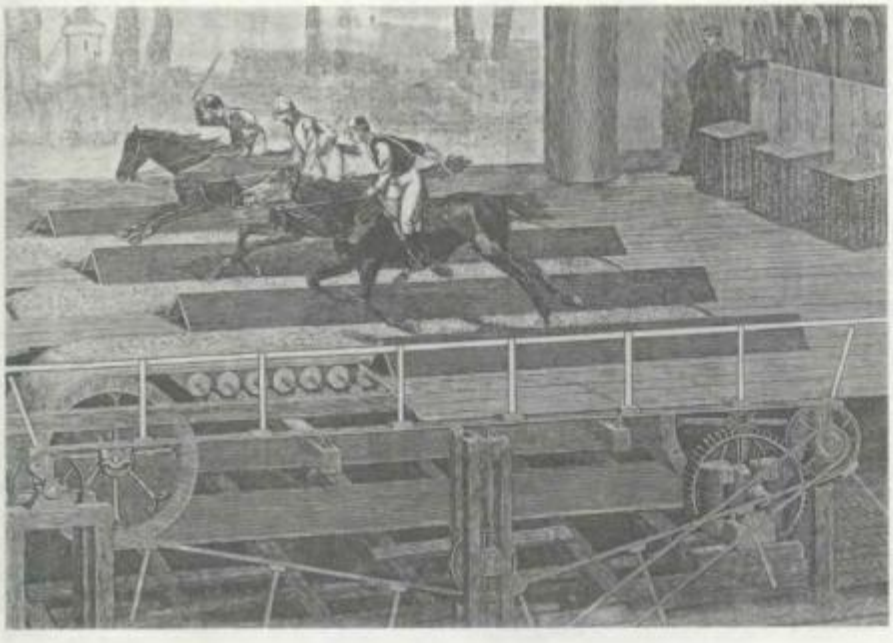
50 и 100 лет назад

АПРЕЛЬ 1941 г. «Несколько лет назад Всемирный совет психологических исследований назначил премию в 10 тыс. долл. любому медиуму, способному продемонстрировать феномен спиритизма или другое сверхъестественное явление, которое председатель совета Данниндже будет не в состоянии повторить или объяснить средствами науки. В качестве стимула к еще невостребованному призу журнал "Scientific American" добавляет 5 тыс. долл.»

«С помощью языка, традиций и письма опыт прошлых поколений может передаваться нашим современникам и потомкам, и таким образом каждое поколение будет в состоянии получать знания, накопленные в прошлом. Объем наших знаний растет, но увеличивается ли наш интеллектуальный потенциал? Превосходят ли лучшие умы современности интеллекты Сократа, Платона и Аристотеля?»

«Столкновения между атомными ядрами внутри Солнца приводят к постепенному превращению водорода в гелий; эта реакция служит источником излучаемой энергии. Внутри «белого карлика» такие атомные столкновения должны быть более частыми, если судить по его относительной плотности. Следовало бы ожидать, что при такой же внутренней температуре там будет выделяться в тысячи раз больше тепла, чем в Солнце. Однако при этом фактически излучаемый световой поток не может быть больше того, который излучает звезда, т.е. менее 1% излучения Солнца. Соотношение составляет примерно 1 000 000 : 1. Единственным объяснением этого, по-видимому, является предположение, что в белых карликах количество атомов, которые в результате реакций производят тепло, в огромное число раз меньше, чем в Солнце».

«Открытие того, что музыкальное звучание может быть «выжато» из куска меди и затем «загнано» в него обратно, дает ключ к разгадке, почему одни материалы являются жесткими, а другие — мягкими. Научный сотрудник компании Westinghouse д-р Томас Рид сообщил об этом открытии в Американском физическом обществе. Он проиллюстрировал его легким постукиванием по медному бруску из литого металла. Брусок звенел,как камертон, но после того, как он был сдавлен под прессом или просто брошен на стол, при постукивании по нему молотком звук становился приглушенным. Однако при увеличении силы ударов или после тщательной холодной обработки потерянное звучание возвращалось. Хотя никто ясно не может объяснить, почему металл теряет звучание и затем приобретает его снова, д-р Рид считает, что наиболее вероятная причина заключается в том, что звук становится «глухим» при возникновении дислокации атомов меди в решетке».



Скачки на месте

SCIENTIFIC AMERICAN

АПРЕЛЬ 1891 г. «Следуем ли мы неизбежно закону природы, сформулированному в словах священного писания: «Ибо прах ты и в прах возвратишься»? Один из известнейших парижских врачей д-р Варио в ответ на этот вопрос предлагает своим современникам воспользоваться электрометаллургическими процессами для получения неразрушаемых мумий. Врач «металлизирует» труп, окружая его оболочкой из бронзы, меди, никеля, золота или серебра, учитывая при этом прихоти или состоятельность тех, кто останется после нас. Изобретатель не считает своей главной задачей использование этого метода для полной металлизации человеческого тела. Предметом его исследований скорее был поиск способов обеспечения музеев и лабораторий медицинских факультетов наиболее надежными и точными образцами, а не стремление добиться предохранения трупов от могильных червей».

«В Лондоне недавно был продемонстрирован метод безболезненного удаления зубов. Электрическое устройство состоит из двух элементов с серной кислотой и двухромовокислым калием и катушки Румкорфа, к которой подсоединен высокочувствительный переключатель. Пациент берется за ручки батареи, одна из которых подсоединена к отрицательному полюсу. Положительный полюс раздваивается таким образом, что один провод соединен с ручкой, а другой — закреплен на зубоврачебных щипцах. Когда пациент берется за ручки, сила тока постепенно увеличивается до тех пор, пока это становится невыносимым для человека. При введении щипцов в полость рта ток на секунду отключается и затем подается снова. «Вам было не очень больно?» — спросил у пациента наш представитель, когда с корнем был вырван малый коренной зуб. «Почти нисколько, я только однажды почувствовал внезапную резкую боль», — ответил он.

«Одним из наиболее популярных номеров программы, которая дается в театре-варьете, являются скачки на лошадях. Животные действительно бегут галопом и в то же время остаются на месте, поскольку дорожки под их копытами движутся в противоположном их бегу направлении, а вместе с ними проносятся и весь ландшафт, и ограждения».

Реальная стоимость энергии

Изменение рыночных цен на энергию с учетом возмещения скрытых издержек, связанных с ее производством и использованием, станет одной из крупнейших проблем ближайших десятилетий

ГАРОЛЬД М. ХАББАРД

В 1989 г. РАСХОДЫ министерства обороны США на обеспечение гарантированных поставок нефти из стран зоны Персидского залива составили более 15 млрд долл. (по некоторым оценкам — около 54 млрд долл.). Согласно первоначальным оценкам Пентагона война в Персидском заливе обойдется США еще в 30 млрд долл. Если взять даже наименьшую из этих цифр, то реальная стоимость каждого барреля нефти, импортируемой в США из стран Ближнего Востока, увеличится примерно на 23,5 долл. Неся эти дополнительные затраты, США фактически субсидируют потребителей ближневосточной нефти, как собственных, так и иностранных.

Эти затраты отражают лишь один из наиболее очевидных способов влияния Соединенных Штатов и других государств на рынок энергоресурсов. Энергия обходится обществу на миллиарды долларов дороже по сравнению с тем, что платят ее потребители непосредственно за используемые нефть, газ, уголь и электричество. Другая неявная плата включает в себя налоговые льготы энергопроизводителям, убытки за счет ухудшения окружающей среды, дополнительные расходы на здравоохранение, потери рабочей силы. Только в США эти косвенные издержки ежегодно составляют по разным оценкам от 100 до 300 млрд долл. Точная же цифра представляет собой предмет неутихающих споров среди экономистов, экологов и политиков.

Д. Сперлинг и М. Делючи из Калифорнийского университета в Дэвисе подсчитали, что цена на транспортное горючее (бензин и дизельное топливо) значительно ниже его реальной стоимости, а ежегодные объемы потребления его составляют 200 млрд галлонов, что примерно равно трети всего объема используемой энергии. Если учесть, что транспортные средства сами по себе относительно неэкономичны, а выхлопы отработанных ими газов происходят в непосредственной близости от людей и зданий, то доля приходящихся на них сверхзатрат в энергопроизводстве значительно больше.

Помимо того, что эти косвенные издержки отягощают экономику страны, они еще искажают и выбор того или иного источника энергии простыми потребителями и лицами, ответственными за формирование экономической политики. Учитывая, что разрыв между продажной ценой и фактическими затратами является самым большим для органических (ископаемых) видов топлива, выявление этих затрат могло бы дать сильные стимулы для перехода к более разумному использованию энергии.

Признание существования и сокращение социальных издержек производства энергии, которая пока еще необходима развивающейся мировой экономике в виде топлива, станет еще более насущной проблемой в ближайшие десятилетия. Как ожидается, население планеты к 2010 г. возрастет с 5,5 млрд до 7 с лишним миллиардов человек. Кроме того, энергетические потребности стран с менее развитой экономикой в силу их стремления повысить жизненный уровень населения будут возрастать ускоренными темпами.

Дополнительные издержки, которые несет в себе каждый баррель нефти или каждый киловатт-час электроэнергии (помимо установленной на них цены), экономисты называют внешними издержками; их вынуждены оплачивать люди, которые не имеют никакого отношения к причинам, обусловливающим эти издержки. Уже более 20 лет экологи и экономисты пытаются определить, из чего складываются внешние издержки, связанные с производством и потреблением энергии, и рассчитать их величину. Что же касается традиционной экономической теории и современной рыночной политики, то они совершенно игнорируют этот показатель, считая его равным нулю.

Игнорирование экологического ущерба и других потерь, которые вынуждено нести общество, ведет к тому, что известный социолог Гаррет Дж. Хардин назвал «трагедией простого народа». Рыночные силы неумолимо ведут к интенсивному использованию почти даровых благ, будь то пастбища, леса или водные ресурсы. Хардин изображает развитие цивилизации как процесс трансформации затрат, которые прежде рассматривались как внешние, внерыночные, во внутренние, или прямые издержки.

Первым примером подобной трансформации была, пожалуй, стоимость сырья. Еще в доисторические времена законы частной собственности и землевладения охраняли такие ценные ресурсы как медно-рудные месторождения, не говоря уже о самих плодородных землях.

С тех пор долгие и болезненные процессы трасформировали из косвенной в прямую стоимость трудовых затрат (посредством отмены рабства), затем стоимость профессиональной подготовки рабочей силы и ее социальной защиты (сначала введением бесплатного образования, а теперь во многих странах и предоставлением отпуска по беременности и уходу за детьми), а также расходы на обеспечение безопасности труда (путем выплат компенсаций за вредность и предоставлением страховых льгот). Сегодня остро стоит вопрос о переводе из косвенных в прямые издержек, связанных с химическими и тепловыми отходами промышленных предприятий, и в первую очередь энергетических объектов.

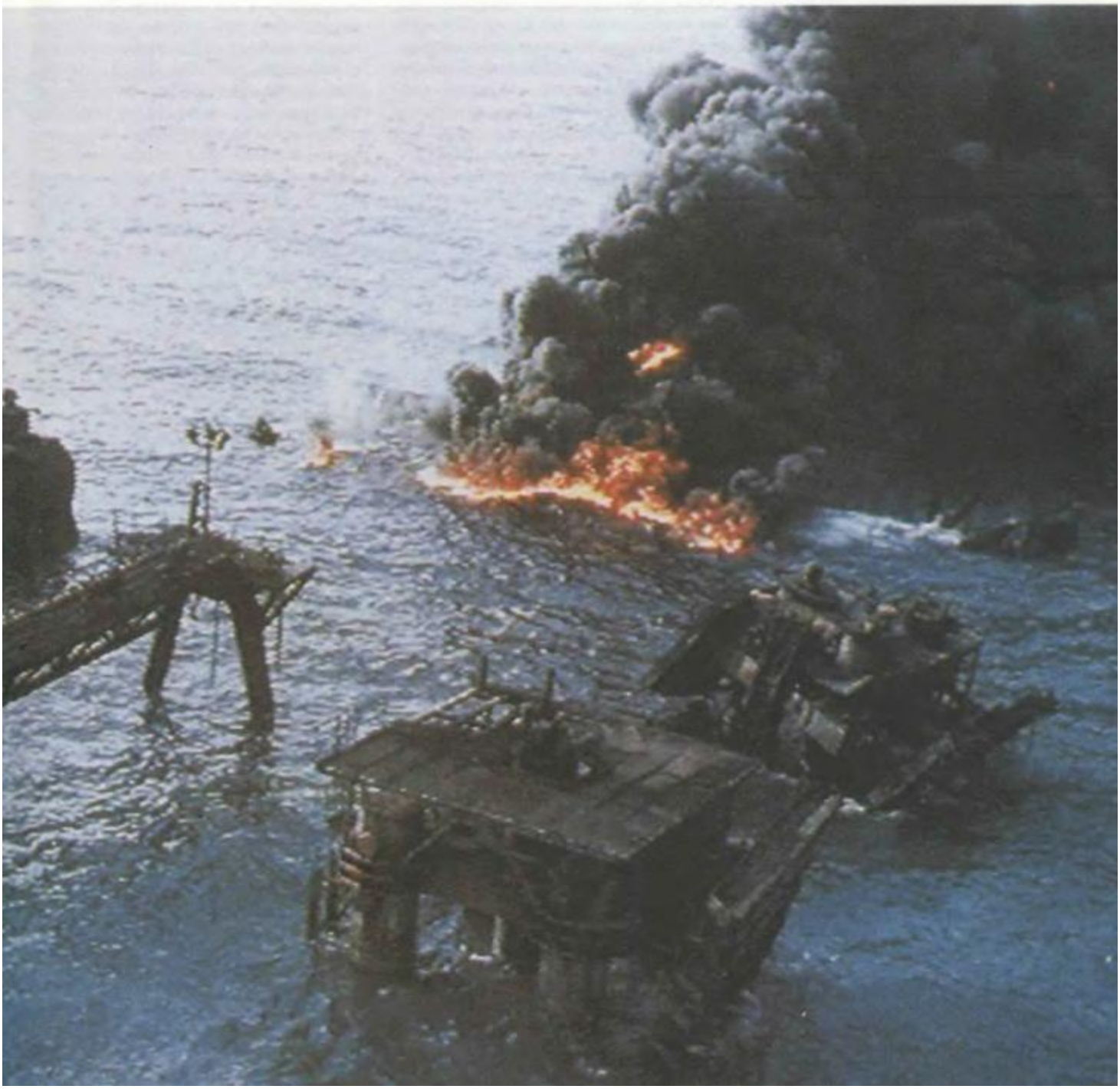
Следует, однако, отметить, что подсчет реальной стоимости энергии

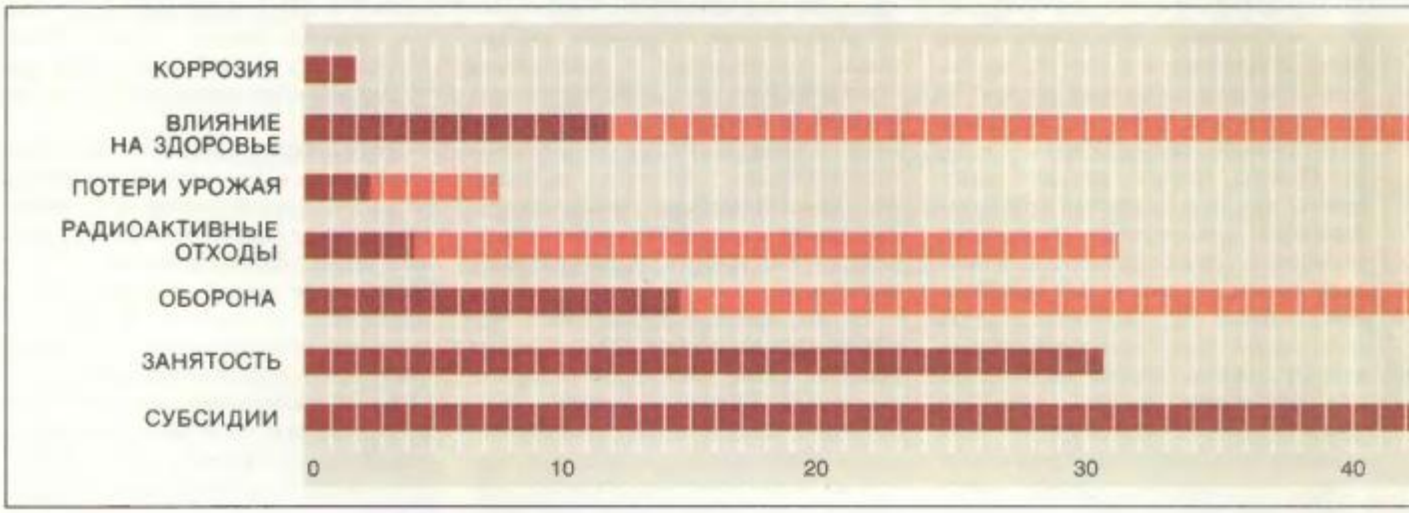
НЕФТЕПРОМЫСЛЫ В КУВЕЙТЕ горят после морского боя в зоне Персидского залива. Даже в мирное время импорт нефти требует вложения миллиардов долларов в оборону США. Автор данной статьи говорит о том, что рыночная цена на энергетические ресурсы должна полнее отражать их реальную стоимость, включающую военные, социальные, экономические и прочие скрытые издержки.

— дело непростое. Вполне очевидно, что потребление различных видов энергии приводит к затратам, превышающим рыночную цену на нее, но характер и величину этих затрат выразить количественно довольно трудно. Ответы, которые находят экономисты, могут зависеть как от установившихся приоритетов социальных ценностей, так и от уровня аналитических решений конкретных проблем. Так, влияние загрязненного воздуха на здоровье людей вызывает существенные дополнительные затраты как на обеспечение работы тепловых электростанций, так и на потребление топлива транспортными средствами. При этом, однако, трудно точно определить, во что обходится обществу возросшее число легочных заболеваний у городских жителей пожилого возраста или отравление свинцовыми соединениями у школьников (какую из этих двух проблем следует считать более важной, мы рассматривать не будем). И хотя одни энергопроизводящие технологии сопряжены с меньшими издержками, чем другие, любая из них несет в себе определенный вред для некоторой части населения.

Те, кто призван формировать экономическую политику, должны также решить, какие косвенные издержки им следует учитывать, а какие — нет. Возьмем, например, затраты, связанные с ликвидацией последствий аварий на энергетических объектах: следует ли учитывать ущерб, причиненный только крупными авариями, такими, как на Чернобыльской АЭС или на нефтеналивном судне «Exxon Valdez», или же любое дорожное происшествие с автобензовозом или цистерной?

Этот вопрос становится еще более сложным, когда компенсационные издержки трудно выразить количественно. Вред, причиняемый окружающей среде, проявляется не только в разрушении зданий и сооружений, в отравлении атмосферы и почв токсичными соединениями и в потере урожая, но и в создании парникового эффекта, разрушении природных ареалов и утрате видового многообразия. Как все это оценить? Как измерить издержки, связанные с изменениями структуры производства, вызванными неожиданным ростом цен





ПОТЕРИ, которые вынуждено нести общество (социальные издержки) в результате производства и потребления энергии, оцениваются неодинаково различными учеными. Самые большие расхождения наблюдаются в оценке ущерба здоровью людей. Это свидетельствует, во-первых, о том, насколько трудно установить цену человеческой жизни и, во-вторых, о больших расхождениях в оценке той доли ущерба обществу, которая в общих издержках, связанных с болезнями людей вследствие загрязнения окружающей среды, обусловлена использованием энергии.

на нефть и последующими явлениями депрессии, и кто за все это должен платить?

ЭКОНОМИСТЫ постепенно продвигаются вперед в решении этих проблем. Ими, в частности, предложено несколько способов для расчета различных составляющих реальной стоимости энергии. В числе наиболее простых — учет суммы субсидий (около 50 млрд долл. в год), которые федеральное правительство выделяет энергопроизводителям в виде налоговых льгот и финансирования исследований. Около 26 млрд долл. из этой суммы приходится на долю ископаемых видов топлива, обеспечивающих 85% ежегодного энергопотребления в США, составляющего примерно $1 \cdot 10^{12}$ Дж. Еще 19 млрд долл. идут на нужды атомной энергетики, удовлетворяющей 7% энергопотребностей страны. И наконец, 5 млрд долл. выделяется на эксплуатацию и развитие возобновляемых источников энергии, на долю которых приходится около 8% общего энергопотребления в стране.

Для того чтобы рассчитать размер ущерба, причиняемого окружающей среде в результате потребления энергии ученые используют три различных способа: по стоимости контроля, по стоимости прямого ущерба и метод условной оценки. Первый из них, предполагающий учет величины расхода на контроль за загрязнением окружающей среды, — наиболее простой, но и наименее точный метод. Он основан на вычислении суммы денег, которую та или иная электростанция, автомобильная компания или какое-либо другое предприятие должны израсходовать на организацию производства так, чтобы оно отвечало действующим экологическим стандартам. С помощью этого метода можно сравнивать стоимости внедрения различных альтернативных технологий.

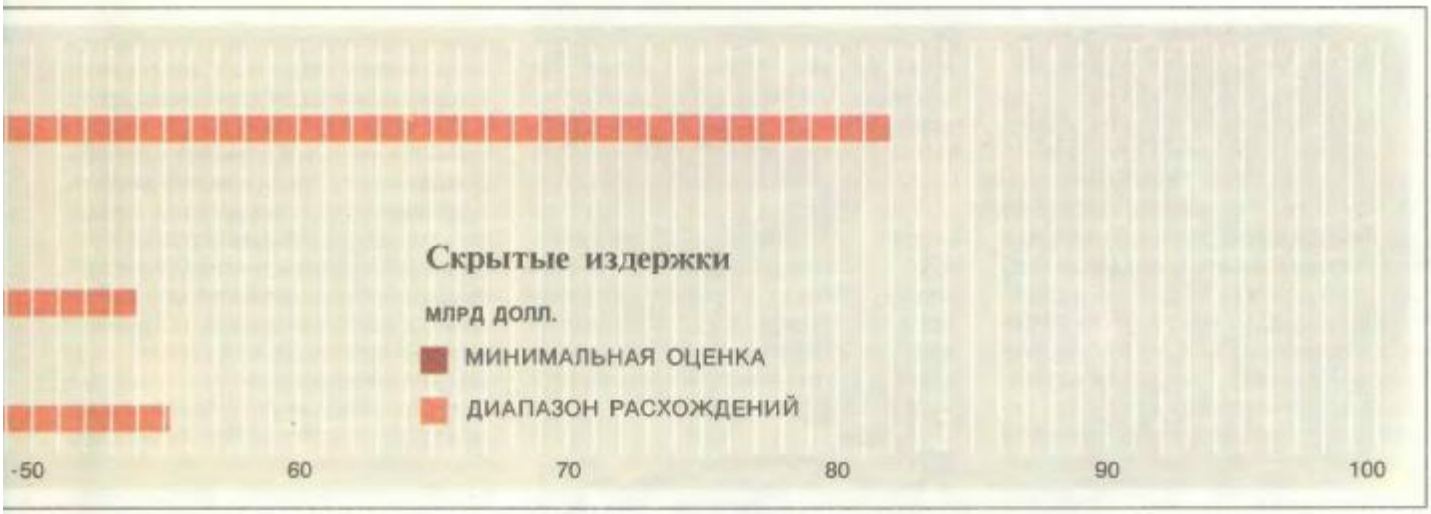
К сожалению, затраты, связанные с соблюдением норм, установленных федеральным правительством, почти никак или совсем не связаны с тем ущербом, который вынуждено нести общество в результате загрязнения окружающей среды тем или иным промышленным объектом. Допустимые уровни загрязнений (а стало быть, и стоимость мер по их соблюдению) обычно зависят от политических компромиссов между группами, представляющими различные интересы, а не от технических возможностей решения насущных проблем.

Кроме того, расчет стоимости контроля имеет свою специфику для каждого конкретного загрязнителя и технологий регистрации его выбросов; он может не учитывать полностью возможный ущерб, обусловленный присутствием этого загрязнителя и даже не содержать указания на самый экономичный подход к решению той или иной экологической проблемы. (Так, скрубберы, используемые для удаления серных соединений, образующихся при сгорании угля, обходятся значительно дороже, чем сжигание угля с низким содержанием серы.)

Применение второго из указанных способов — расчет издержек, вызванных ущербом окружающей среде, позволяет получить данные, необходимые для выбора наиболее подходящего источника энергии. Этот метод, однако, требует более детального представления о том, каким образом каждое вредное соединение, продуцируемое данным источником энергии, распространяется в атмосфере, каким химическим превращениям оно подвергается, как оно осаждается в воде, в легких человека и где-либо еще и как оно воздействует на каждый объект, с которым соприкасается.

В принципе было бы относительно легко определить ущерб, нанесенный тем или иным источником энергии производству продукции, имеющей большой спрос на рынке, например урожаю зерна или строительным материалам. На практике, однако, специалисты часто не имеют единой точки зрения по этому вопросу. Так, Агентство по охране окружающей среды считает, что выбросы озона энергопроизводящими объектами сокращают урожай зерновых в США на 12%, что равноценно ежегодным убыткам в размере 2,5 млрд долл. Ученые Корнеллского университета считают, что эти потери составляют 30%. Точно так же некоторые данные говорят за то, что если бы США сами производили всю необходимую им нефть, а не импортировали ее, то за счет роста занятости рабочих страна в целом экономила бы 30 млрд долл. Многие экономисты, однако, могли бы оспорить этот вывод на том основании, что высвобожденные из энергетических отраслей рабочие переходят в другие секторы экономики.

Еще более сложно определить ущерб, наносимый ухудшением состояния окружающей среды объектам, не являющимся предметом коммерческой деятельности, таким как



исторические памятники, животный мир с его многообразием, дикая природа, заповедники.

Настаивать на точной оценке величины таких неявных убытков — значит продолжать бездействовать. Определить же сколько-нибудь разумную стоимость причиненного ущерба можно посредством метода косвенных оценок. Для этого можно было бы провести исследование и выявить, какую сумму были бы готовы заплатить люди, чтобы избежать того или иного вида вредного экологического воздействия, или от каких социальных благ они согласились бы отказаться ради сохранения чистоты окружающей среды. Или, скажем, наоборот, выяснить, какую компенсацию они потребовали бы за то, чтобы смириться с тем или иным ухудшением среды их обитания. Так, в 1990 г. Управление энергетики в Бонневилле провело опрос среди налогоплатель-

КИСЛОТНЫЕ ДОЖДИ и причиняемый ими вред относятся к тем факторам, в отношении которых непосредственная связь с применением энергии установлена лучше всего. Однако размеры причиняемого кислотными осадками ущерба подсчитать очень трудно, поскольку он проявляется во вреде, наносимом таким природным объектам, как леса, реки и озера, коммерческая стоимость которых не поддается количественной оценке.

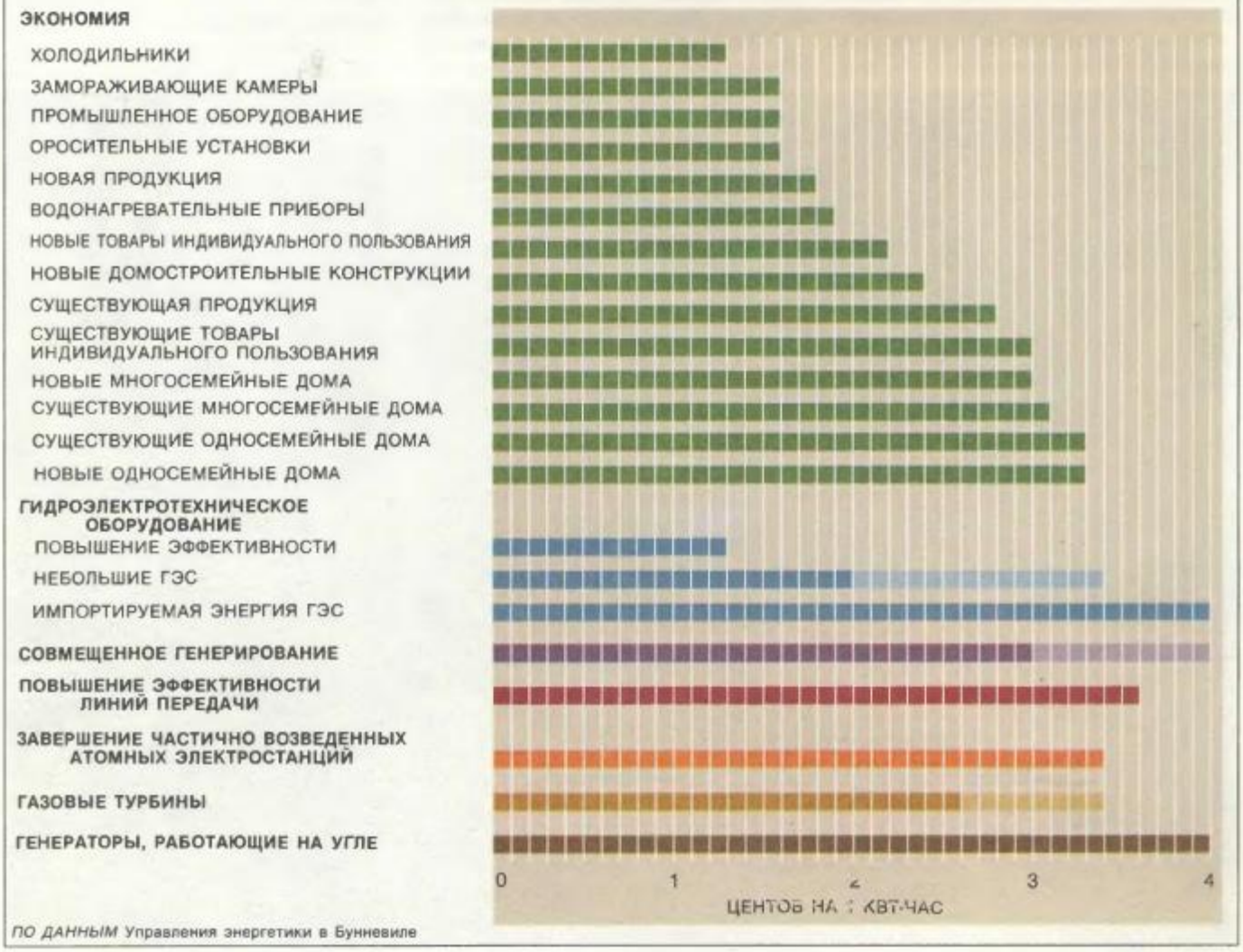
щиков в штатах. Орегон, Вашингтон, Айдахо и Монтана с тем, чтобы определить, какую цену они согласны были бы заплатить за переход на альтернативные источники энергии, такие, как солнечные батареи и ветровые генераторы, или за введение более строгих мер экономии энергии. Репрезентативный выборочный опрос 3,6 млн потребителей показал, что каждый из них готов платить 13,3 долл. в год (а всего 48 млн долл.) за то, чтобы избежать строительства АЭС вблизи места их проживания. Они также готовы заплатить 46 млн долл. за отказ от сооружения тепловой электростанции и 20 млн долл. — за отказ от новой гидроэлектростанции. Это, конечно, слишком маленькие суммы для развития альтернативной энергетики.

С помощью такого косвенного метода можно определить, во что могут обойтись потенциальные и опасные для нарушения экологической обстановки явления, такие, например, как аварии на АЭС или глобальное потепление, вероятность которых и причиняемый ими ущерб нельзя оценить количественно никакими обычными методами. И хотя к подобным оценкам следует относиться с осторожностью, они тем не менее могут дать какую-то основу для принятия решения в тех случаях, когда одни выступают за действенные упреждающие меры, а другие придерживаются правила «поживем—увидим».

В 1989 г. УПРАВЛЕНИЕ по рациональному расходу энергии и использованию возобновляемых источников энергии при министерстве энергетики США провело два предварительных исследования, связанных с выявлением издержек, обусловленных производством электроэнергии и неизбежным при этом негативным воздействием на окружающую среду. В процессе этой работы проводился сопоставительный анализ ущерба, причиняемого загрязнением воздуха, использованием земельных площадей, расходованием материалов и выбросами диоксида углерода при сжигании ископаемых топлив при работе АЭС и возобновляемых источников электроэнергии, на всех стадиях — от добычи топлива до его полного сгорания. Полученные результаты позволяют установить определенный механизм сравнения степени воздействия на окружающую среду различных по своим характеристикам энергетических технологий.

Один из важных выводов, сделанных в результате проведенных мини-

Во что обходится удовлетворение потребности в электроэнергии



ПО ДАННЫМ Управления энергетики в Бунневиле

ПОЛУЧЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ за счет вложения средств в строительство энергосберегающих зданий и производство экономичного оборудования обходится дешевле, чем строительство новых электростанций. Проведенный анализ включал как прямые, так и косвенные (социальные) издержки производства и использования электроэнергии. (Более светлая часть полосок указывает на диапазон расхождения оценок.)

стерством энергетики исследований, заключается в том, что совершенно безвредной для окружающей среды технологии производства энергии вообще не существует. Например, хотя светочувствительные элементы при работе не дают никаких вредных отходов, их изготовление требует большого количества экологически вредных материалов, которые впоследствии при разложении образуют попадающие в окружающую среду токсичные элементы — мышьяк и кадмий.

Результаты исследований показывают также, что упреки в отношении вывода из оборота больших земельных площадей при использовании технологий, связанных с преобразованием солнечной и других возобновляемых видов энергии, не совсем точны: тепловые и атомные электростанции требуют примерно таких же площадей. Разница лишь в том, что при использовании угля, урана и органических топлив занимается территория в месте их добычи, в то время как солнечные и ветровые станции занимают землю там, где непосредственно вырабатывается энергия.

Таким образом, выбор той или иной энергопроизводящей технологии сводится к выбору вида и местоположения объектов, необходимых для производства энергии. Тем не менее сотрудники министерства энергетики установили все же, чем отличаются все эти объекты. АЭС (при их нормальной работе), светочувствительные элементы и возобновляемые источники энергии наносят несомненно меньший вред окружающей среде, чем сжигание угля.

Проведение дальнейших исследований министерство энергетики поручило Национальной лаборатории в Ок-Ридже и научному центру «Ресурсы для будущего», обязав их проанализировать «в чистом виде» все социальные издержки, которые влекут за собой различные способы производства энергии. Для каждого из них ученые должны будут подсчитать все ресурсные затраты, включая потребность в рабочей силе, материалах и капиталовложениях, а также влияние производства и использования энергии на качество воздуха, воды и на национальную безопасность. Этот проект осуществляется совместно с аналогичными исследованиями, проводимыми в рамках ЕЭС и в других странах. В 1992 г., когда эта работа будет завершена, государственные деятели смогут более основательно сопоставить существующие и перспективные технологии энергопроизводства.

Как же трансформировать дополнительные издержки, связанные с вредным влиянием производства энергии на окружающую среду, во внутренние затраты? Простейшее средство для сдерживания рыночных сил заключается в введении налога на энергию. По данным некоторых экономистов, например, налог в размере 28 долл. на одну тонну углеродосодержащего топлива приведет к стабилизации в ближайшее десятилетие выбросов диоксида углерода, главной компоненты, обусловливающей возникновение парникового эффекта. Эта мера привела бы также к уменьшению загрязнения среды другими вредными соединениями.

Введение налогов, однако, не всегда может оказаться наилучшим способом для учета дополнительных издержек в себестоимости произведенной энергии. В некоторых случаях, скажем когда речь идет о выработке электроэнергии, выбор первичного источника энергии делается задолго до того, как налог начнет выплачиваться. Коммунальные службы многих штатов решили обратиться к методу, называемому комплексным планированием ресурсов и предусматривающему удовлетворение спроса на энергию при наименьших возможных издержках.

Этот метод предполагает изучение множества альтернатив с точки зрения возможных издержек, а не просто принятие решения о строительстве новых электростанций. В этом случае анализируются такие факторы, как экономия, повышение производительности действующих систем, переход на новые виды топлива и на использование нетрадиционных источников энергии — солнца и ветра. В 26 штатах сейчас принято решение о том, чтобы коммунальные предприятия в своих комплексных планах подсчитывали величину дополнительных издержек; в 18 штатах это решение уже реализуется.

В качестве первого шага комиссии, ответственные за работу коммунальных предприятий, решили отдать предпочтение прежде всего тем технологиям, которые обеспечивают экономические и экологические выгоды; при этом, однако, они не уточняли, каким образом будут устанавливаться эти предпочтения. На следующем этапе предполагается учесть дополнительные издержки путем добавления фиксированного процента к расчетной себестоимости той или иной экологически вредной технологии (либо путем вычитания такого же фиксированного процента из расчетной стоимости энергосберегающих мероприятий или альтернативных технологий). Эти так называемые процентные добавки являются простым (хотя небесспорным) способом введения экологических издержек в рыночную стоимость.

В штате Висконсин, например, считают, что применение энергосберегающих технологий или производство энергии без использования ископаемых видов топлива экономически сопоставимы с обычными системами, даже если стоимость того или другого на 15% дороже. Действующая в штате комиссия коммунального обслуживания настаивает на том, чтобы энергетические предприятия включали будущие затраты на решение проблем, связанных с улучшением качества воздуха, в планы модернизации действующих электростанций. Эти расчеты должны учитывать рост затрат в связи с ожидаемым введением более жестких норм на выбросы.

В ряде штатов стали применять более сложные методы, позволяющие непосредственно определять издержки, связанные с ухудшением экологии. Так, в штате Нью-Йорк к ожидаемой цене за один киловатт-час электроэнергии, получаемой от любого источника, прибавляется определенная сумма в счет возмещения ущерба, наносимого воздушной среде, водным ресурсам и земельным угодьям. Работающие на угле тепловые электростанции, расположенные в центре города и не имеющие очистного оборудования, будут облагаться штрафом в размере 1,405 цента на каждый вырабатываемый киловатт-час, что примерно составляет 25% его полной себестоимости. Другие электростанции облагаются соответственно меньшим штрафом.

В других штатах — Калифорнии, Орегоне, Висконсине, Нью-Джерси и Колорадо изучают возможность применения еще более сложных методов, например предложенных Ш. Бунанэном и его коллегами из Управления энергетики в Бонневиле. Их подход основан на расчете полной себестоимости одного киловатт-часа произведенной или сэкономленной электроэнергии в течение всего срока службы электростанции или оборудования, обеспечивающего экономию. Эта полная себестоимость включает капитальные затраты на строительство энергетического предприятия или на приобретение энергосберегающего оборудования, стоимость производства или экономии каждого киловатт-часа и различные, поддающиеся учету экологические и социальные издержки. Затраты на экономию учитываются с 10%-ной скидкой, поскольку она способствует сохранности окружающей среды, выгоды которой не поддаются учету.

Применение этой методики указанным Управлением для перспективного планирования на ближайшие 20 лет дало удивительные результаты. Наиболее эффективными с точки зрения затрат, как показали расчеты, следует считать мероприятия по сбережению энергии и повышение производительности существующего гидроэлектротехнического оборудования. Самыми дорогими, как оказалось, являются строительство новых АЭС, совмещенные методы производства электроэнергии (когенерация) и эксплуатация тепловых электростанций, работающих на угле; стоимость вырабатываемого на всех этих станциях одного киловатт-часа обходится в 2-3 раза выше.

Хотя в данной методике энергосбережение рассматривается как один из способов удовлетворения спроса на электроэнергию (учитывая действующие сегодня правила), фактически единственным способом увеличения прибыли для коммунальных предприятий является продажа большего количества электроэнергии. Чтобы экономия электроэнергии потребителями была прибыльной для электростанций, правила должны систематически пересматриваться.

Итак, работа, проводимая министерством энергетики и другими организациями, вносит существенный вклад в понимание того, во что в действительности обходится энергия обществу. Воплощенное в механизм определения новых рыночных цен на энергию, это понимание позволит принять разумные и выгодные долгосрочные решения в отношении энергопользования. Однако федеральное правительство все еще придерживается консервативных взглядов, в то время как отдельные штаты, среди которых Калифорния, Нью-Йорк и Висконсин, лидируют в этом направлении, особенно в планировании производства электроэнергии. Федеральное правительство должно последовать этому примеру и ввести налоги на различные виды топлива с тем, чтобы учесть побочные, внешние издержки, связанные с их использованием.

Правительство может оказать помощь и другими способами: установить такие производственные нормативы, которые стимулировали бы освоение новой, энергосберегающей продукции, активизировать просвещение населения относительно перспективности нового ценообразования на энергию, а также финансировать исследования в области передовых технологий в энергетике.

Рано или поздно общество должно будет заплатить за потребляемую энергию ее истинную цену. Сделать это рано — значит повысить цену на бензин, электричество и отопление. Для потребителей это, конечно, будет сопряжено с рядом неудобств и воспримется ими болезненно. Однако попытка отложить эту оплату может обойтись тому же потребителю гораздо дороже и тогда потребуется принятие более решительных мер.

Если в ближайшие десятилетия произойдут беспрецедентные изменения климата и отравление атмосферы будет возрастать невероятными темпами, то не исключено, что придется резко сократить производство в тяжелой промышленности, запретить владение частными автомобилями в крупных городах, ввести ограничения на пользование отопительными приборами и кондиционерами. Можно ожидать, что в этой связи будет наблюдаться эскалация международных конфликтов из-за претензий за обладание энергоресурсами и вследствие противостояния загрязнению окружающей среды.

Из сказанного можно сделать вывод, что, чем раньше политики и сами граждане предпримут разумные меры, направленные на трасформацию внешних издержек, обусловленных производством и потреблением энергии, во внутренние расходы, тем лучше. Включение социальных и экологических издержек в себестоимость энергии будет означать для потребителей, что цены на нее возрастут. Но это повышение цен приведет к более эффективному использованию энергии и будет стимулировать внедрение технологий, выгодных для общества в целом. Когда цены отражают все затраты, рынок работает на укрепление экономики и уже не остается в стороне от решения таких важных проблем, как сохранение чистоты воздуха, предотвращение глобальных изменений климата и обеспечение безопасности энергетических объектов.

Наука и общество

Мягкая терапия рака

Подобно другим раковым заболеваниям, лейкоз развивается вследствие нарушения механизмов, ограничивающих клеточные деления. Это приводит к взрывной пролиферации лейкоцитов, которые распространяются по всему организму, так что применять обычные методы лечения рака — облучение и химиотерапию — оказывается затруднительно.

Недавно несколько исследовательских групп открыли более мягкий путь лечения по крайней мере одной формы лейкоза — острого промиелоцитарного лейкоза (ОПЛ). Вместо того чтобы стремиться убить злокачественные клетки больного, их «перепрограммировали» с помощью производного витамина А, в результате чего прекратились клеточные деления. Эти результаты вдохновили попытки применить такой подход к другим формам рака.

Принцип этой так называемой дифференцировочной терапии основан на том наблюдении, что раковые клетки часто выглядят как бы заторможенными на промежуточной стадии раз-

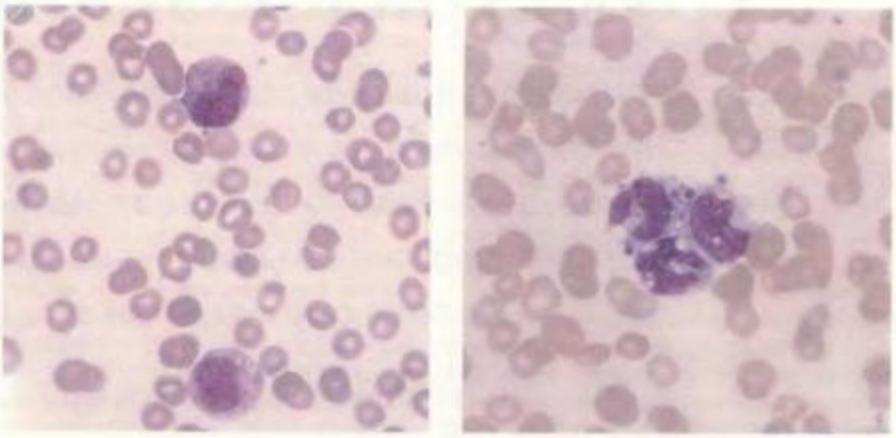
вития. Уже более десятка лет известно, что некоторые химические соединения могут стимулировать дифференцировку незрелых клеток, которые, достигнув конечной стадии своего развития, прекращают делиться. Однако попытки использовать эту идею на практике разочаровывали.

К числу соединений, влияющих на дифференцировку клеток, относятся родственные витамину А вещества, называемые ретиноидами. Их стали применять для лечения рака в начале 1980-х годов; тогда появилось несколько публикаций о лечебных эффектах ретиноидов, но эти данные были не столь впечатляющими, чтобы вызвать устойчивый интерес. Однако в 1988 г. Чжэн-юй Ван с коллегами из Второго медицинского университета в Шанхае лечили больных ОПЛ одним из ретиноидов, называемым *транс*-ретиноевой кислотой, и добились, по их сообщению, почти полной ремиссии у 24 больных.

Больных ОПЛ, как правило, приходится госпитализировать, поскольку они подвержены обширным кровотечениям, которые за считанные минуты могут привести к гибели. Даже если первичное кризисное состояние удалось преодолеть с помощью химиотерапии, почти в 70% случаев больной может прожить не более пяти лет. А пациенты китайских врачей принимали ретиноевую кислоту на дому в форме таблеток, и самым тяжелым побочным эффектом у них было изъязвление губ. «Результаты, надо прямо сказать, столь потрясающие, что никто им не верит», — признался Р. Уоррелл из Онкологического центра им. Слоана и Кеттеринга.

В числе тех врачей, которые отнеслись к этим данным не столь скептически, был Л. Дего из больницы Сан-Луи в Париже. Узнав о результатах лечения ретиноевой кислотой, Дего отправился в Шанхай, и увиденное произвело на него такое глубокое впечатление, что он решил запастись чудесным лекарством. В то время *транс*-ретиноевая кислота производилась в пригодной для употребления через рот форме только в Китае, хотя входила в состав крема для кожи под названием «Ретин-А», который продавался в США официально для лечения угрей. Несмотря на низкую чистоту китайского препарата, Дего, применив его, добился полной ремиссии у 24 из 25 больных. Этот успех побудил фирму Produits Roche S.A. (французский филиал компании Hoffman-La Roche) в 1989 г. начать производство *транс*-ретиноевой кислоты в форме для приема через рот.

Дего сообщил о полученных результатах Уоррелу, и тот задался целью попробовать воспроизвести их. Его жена Л. Айтри, будучи помощником вице-президента Hoffman-La Roche в США, убедила руководство компании взяться за изготовление нужной формы препарата. Это решение далось с трудом, поскольку в США число случаев ОПЛ не превышает 1000 в год, что слишком мало для возмещения затрат на разработку. Кроме того, Управление по контролю качества пищевых продуктов, медикаментов и косметических средств США (FDA) отнеслось к этой идее подозрительно, поскольку лекарство не было проверено на безопасность.



ЛЕЙКОЗНЫЕ КЛЕТКИ среди других, более мелких, клеток крови больного острым промиелоцитарным лейкозом (*слева*). В результате лечения *транс*-ретиноевой кислотой эти клетки приобретают признаки более зрелых стадий (*справа*). (Фотография Р. Уоррелла.)

В прошлом году Уоррелл совместно с У. Миллером, Э. Дмитровски и другими начал клинические испытания. «Результаты китайских и французских ученых полностью подтвердились», — заявил Уоррелл. Недавно он с коллегами сообщил о ремиссии у 9 из 10 больных ОПЛ; скоро будут опубликованы результаты лечения большего числа больных.

Как ни странно, оказалось, что ретиноевая кислота сама по себе не излечивает ОПЛ. Если больные получают только это вещество, то в большинстве случаев через несколько месяцев наблюдаются рецидивы. Но, как сообщил Дего, у больных, которые после такого лечения подвергались обычной химиотерапии, ремиссия держалась более года.

Тем не менее исследователи считают, что полученные результаты убедительно подтверждают возможности дифференцировочной терапии. «Можно принудить клетки пройти стадии нормальной дифференцировки, заканчивающейся формированием необычных, но, несомненно, зрелых лейкоцитов», — сказал Уоррелл, а Дего добавил: «Впервые удалось изменить клеточную программу, вызвав почти полную дифференцировку, и достичь нормальной смерти клеток».

По мнению Дмитровски, успешная дифференцировочная терапия ОПЛ может служить моделью для лечения других раковых заболеваний человека. Эти исследования могут привести к пониманию регуляторных механизмов, которые нарушаются при злокачественном процессе. Недавно Дего и Дмитровски с сотрудниками независимо друг от друга показали, что у большинства больных ОПЛ имеется мутация в гене, кодирующем белок, с которым связывается ретиноевая кислота. Кроме того, у одного больного ОПЛ без этой мутации реакция на ретиноевую кислоту была подавлена, так что обнаруженное генетическое нарушение может быть основной причиной заболевания.

В опытах in vitro ретиноевая кислота вызывает дифференцировку и других опухолевых клеток, в том числе тератокарцином и некоторых опухолей молочной железы. Национальный институт рака проводит в настоящее время проверку токсичности препарата, производимого Hoffman-La Roche; по мнению сотрудника этого учреждения Г. Стивенсона, полученные результаты обнадеживают. Стивенсон сообщил, что планируются исследования активности ретиноевой кислоты при ряде раковых заболеваний.

Воодушевленные эффективностью *транс*-ретиноевой кислоты, Hoffman-La Roche и другие фармацевтические компании приступили к поискам вариантов этого препарата, которые бы обладали дополнительными полезными свойствами. «Дифференцировка клеток давно привлекает внимание, — отметил Дмитровски. — По-моему, эта идея работает».

Структура квазикристаллов

Квазикристаллы представляют собой структуры, не похожие ни на упорядоченные кристаллы, ни на аморфные тела типа стекол. Многие особенности квазикристаллов можно объяснить, но их атомная структура по-прежнему остается загадкой

ПИТЕР В. СТИВЕНЗ, АЛАН И. ГОУЛДМАН

КОГДА смесь алюминия, меди и железа расплавляют, а затем охлаждают, при затвердевании могут образоваться зерна в форме додекаэдра, симметричного тела, все 12 граней которого — правильные пятиугольники. Хотя такие структуры похожи на кристаллы, они ими не являются. Кристаллы состоят из одинаковых «строительных блоков», называемых элементарными ячейками, в которых атомы расположены одинаково и которые соединяются со своими соседями одним и тем же способом. Додекаэдрические зерна не могут состоять из одинаковых ячеек — ни из кубических, ни даже из додекаэдрических. Это — квазикристаллы.

Действительно, все проведенные исследования структуры на атомном уровне показали, что квазикристаллы не состоят из повторяющихся элементарных ячеек. Эти новые необычные материалы не могут быть кристаллами, но по их внешнему виду невозможно определить, что они собой представляют. Исследуя структуру квазикристаллов, физики, химики и материаловеды обнаружили, что атомная структура периодических кристаллов, которую они изучали последние 78 лет, является лишь одним из возможных типов упорядочения в твердых телах.

С 1984 г., когда Д. Шехтман и его коллеги из Национального института стандартов и технологии (НИСТ) открыли первый квазикристалл, было создано много различных квазикристаллических сплавов (см. статью: Д. Нельсон. Квазикристаллы, «В мире науки», 1986, № 10, с. 19). Получены образцы, позволившие количественно проверить представления, казавшиеся безосновательными семь лет назад. Эти исследования квазикристаллов привели к созданию трех теорий их структуры: модели Р. Пенроуза, модели икосаэдрических стекол и модели случайного покрытия.

В модели Пенроуза, математика из Оксфордского университета, предполагается, что квазикристаллы состоят из двух или более элементарных ячеек, которые соединяются (стыкуются) друг с другом согласно специальным правилам. Эта модель точно описывает некоторые основные свойства квазикристаллов, но плохо объясняет, как правила стыковки (называемые также локальными правилами) могут быть связаны с процессами атомного роста.

В основе модели стекол, напротив, лежит локальное взаимодействие, которое приводит к тому, что кластеры (группы) атомов стыкуются отчасти случайным образом. Согласно этой модели, ориентация всех кластеров одинакова, но из-за случайного роста образующаяся структура имеет много дефектов.

В настоящее время, по-видимому, эти две модели привели к появлению третьей модели — случайного покрытия, — соединяющей их лучшие черты. В последние годы среди ученых, занимающихся физикой твердого тела, ведется особенно много споров о структуре квазикристаллов. Разрешение спорных вопросов может привести к разработке теории квазикристаллической структуры и стимулированию создания материалов с необычными структурными и электрическими свойствами.

ДЛЯ получения первых квазикристаллов Шехтман и его коллеги из НИСТ расплавляли смесь алюминия и марганца и затем выливали ее на быстро вращающееся колесо, достигая скорости охлаждения около 1 млн. кельвинов (К) в секунду. Такое резкое охлаждение, называемое закаливанием, может перевести сплав в совершенно новые фазы (структуры). Чтобы понять необычность этих состояний, надо вспомнить основные принципы кристаллографии.

Кристалл может обладать только определенной симметрией, поскольку существует ограниченный набор способов построения твердого тела из одинаковых ячеек. Кристалл соли, например, состоит из кубических ячеек, образующих кубические зерна. Следовательно, кристалл соли обладает вращательной симметрией четвертого порядка: если кристалл повернуть на четверть оборота вокруг соответствующей оси, то атомы повернутого кристалла займут те же положения, что и атомы неповернутого. Кристаллы могут обладать только симметрией второго, третьего, четвертого и шестого порядков.

Кристалл не может иметь, например, симметрии пятого порядка, потому что при помощи одной элементарной ячейки с симметрией пятого порядка, такой, как додекаэдр, невоз-

КВАЗИКРИСТАЛЛ (*справа*) отличается от других веществ необычной симметрией. Его зерна — это додекаэдры, симметричные тела с 12 гранями в форме правильных пятиугольников. Додекаэдр обладает вращательной симметрией пятого порядка, т. е. совмещается сам с собой при вращении на 1/5 оборота вокруг оси, перпендикулярной одной из граней. Эти зерна, состоящие из алюминия, меди и железа, имеют размер около 300 мкм. Срез нескольких атомных слоев, представленный на электронной микрофотографии (*вверху*), тоже имеет симметрию пятого порядка.

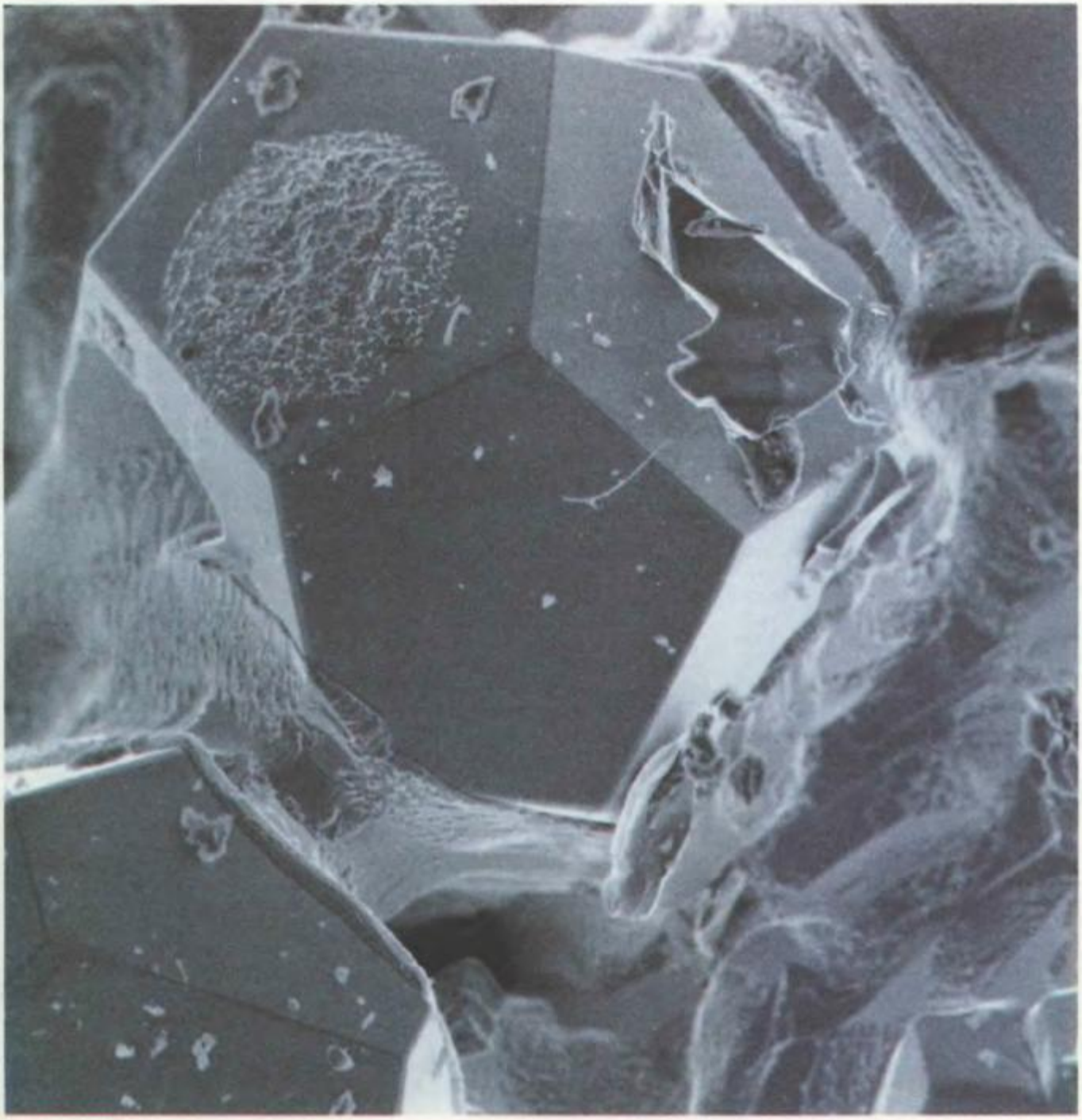
можно полностью заполнить пространство — всегда будут оставаться пустоты между ячейками.

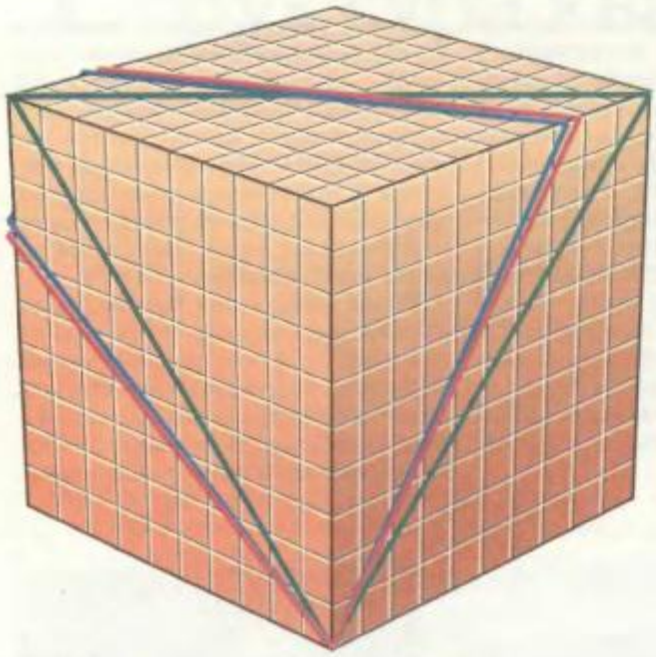
Для определения структуры кристаллов исследователи используют косвенный, но хорошо понятный метод. Атомы в кристалле образуют семейство параллельных плоскостей. Каждая такая плоскость действует как зеркало по отношению к падающим рентгеновским лучам, электронам и другим видам излучения, а также к потокам частиц, которые распространяются в пространстве как волны. Каждая плоскость отражает падающие волны очень слабо. Но если волны, отраженные от всех параллельных плоскостей, согласованы по фазе, то суммарная интенсивность отраженной волны становится достаточно высокой. Это явление называют дифракцией. Дифракция происходит, когда любая волна взаимодействует с упорядоченной структурой, имеющей соответствующий период.

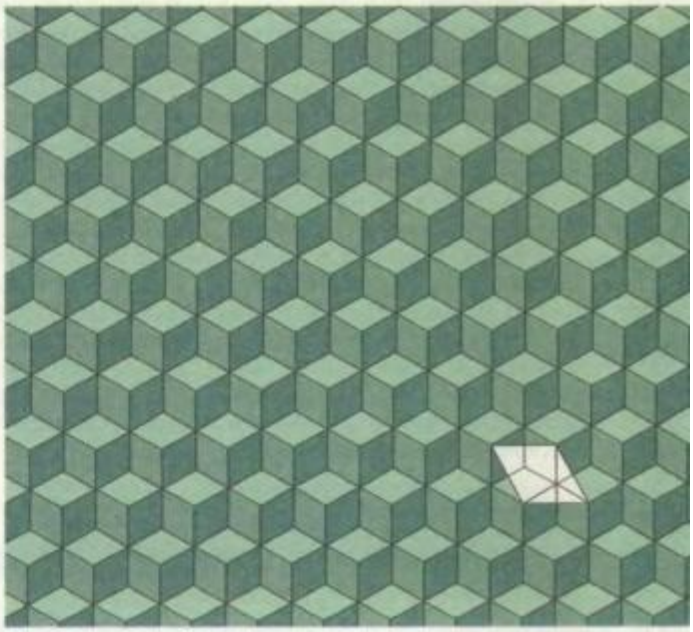
Когда кристалл облучается пучком рентгеновских лучей или электронов, углы их дифракции содержат информацию о форме и размерах его элементарной ячейки. Дифрагированные волны могут быть зарегистрированы, например, на фотопластинке, где они оставляют рисунок из ярких пятен.

Симметрия кристалла отражается на его дифракционной картине. Кристалл, обладающий вращательной симметрией шестого порядка, даст дифракционную картину с той же симметрией. Поскольку никакой кристалл не может иметь симметрии пятого порядка, получение дифракционной картины с такой симметрией кажется невозможным.

Тем не менее, когда Шехтман с коллегами «просветили» сплав алюминия и марганца электронами, они обнаружили дифракционную картину, обладающую вращательной симметрией пятого порядка. Вращая образец на определенные углы, они выяснили,







ПЕРИОДИЧЕСКУЮ ИЛИ КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКУЮ структуру можно получить при рассечении кубического кристалла плоскостью (*слева*). Результат сечения зеленой плоскостью изображен зеленым цветом (*справа*). Полученное сечение периодично в том смысле, что его можно получить повторением единственной элементарной ячейки (*белая*) регулярным образом. Показанная синим цветом структура тоже периодична и образуется из одной элемен-

что у него имеется шесть осей пятого порядка, т. е. сплав обладает симметрией икосаэдра, так как икосаэдр — это 20-гранник с шестью осями пятого порядка, имеющими ту же ориентацию, что и у сплава.

Икосаэдрические сплавы — это только один тип квазикристаллов, открытых за последние семь лет. Все квазикристаллы обладают симметриями, которые «запрещены» в обычных кристаллах. Л. Бендерский из НИСТ обнаружил, что алюминий и марганец могут образовывать структуру, периодическую в одном направлении и имеющую 10-кратную вращательную симметрию в перпендикулярной плоскости. Недавно исследователи создали также квазикристаллы с осями 8-го и 12-го порядков. В некотором смысле эти квазикристаллы обеспечивают связь между квазикристаллическим и кристаллическим порядком. Однако представления об икосаэдрической симметрии и устойчивости икосаэдрических атомных кластеров объясняют не все открытые квазикристаллические явления.

ПЕРВАЯ модель квазикристаллов появилась на основе математической теории замощения, развитой Пенроузом и другими учеными в 70-е годы (см.: Martin Gardner, Mathematical Games, "Scientific American", January 1977). Пенроуз изучал квазипериодические покрытия плоскости двумя или более фигурами. Каждое такое покрытие, которое сейчас называют мозаикой Пенроуза, можно построить, соблюдая специальные правила стыковки (см. вставку на с. 19).

В 1982 г. А. Маккей из Лондонского университета вычислил дифракционные свойства теоретической квазипериодической структуры. Он показал, что если атомы расположить в вершинах каждой фигуры, заполняющей покрытие Пенроуза, то дифракционная картина будет обладать симметрией 10-го порядка. Затем в 1984 г. П. Крамер и Р. Нери из Тюбингенского университета обобщили идею двумерного покрытия Пенроуза на три измерения. Д. Левин и П. Стейнхардт из Пенсильванского университета рассмотрели также возможность других видов атомного порядка, основанного на покрытиях Пенроуза.

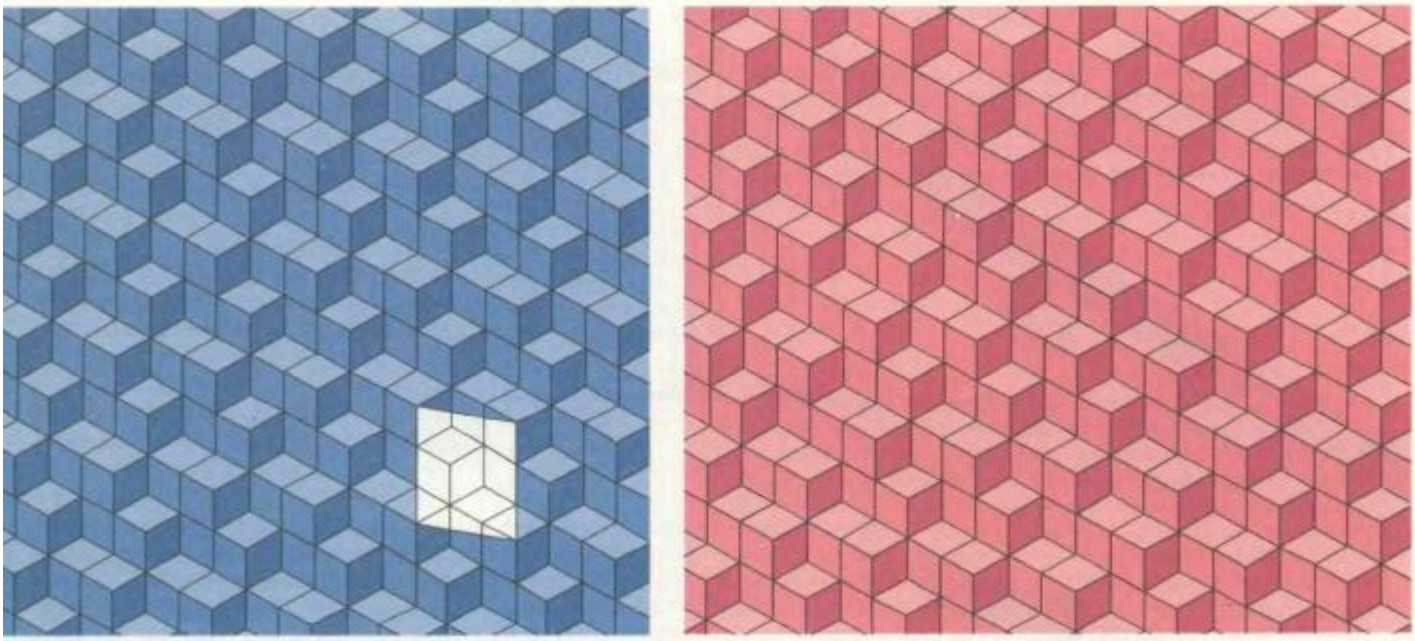
Левин и Стейнхардт предложили модель Пенроуза для квазикристаллов всего через шесть недель после опубликования известной статьи Шехтмана и его коллег. Они предложили трехмерное обобщение покрытия Пенроуза, описывающее структуру сплава алюминия и марганца, и показали, что пики дифракционной картины, вычисленные на основе их модели, хорошо согласуются с данными Шехтмана.

Квазикристаллы Пенроуза строятся из нескольких элементарных ячеек по определенным правилам стыковки. Эти правила намного сложнее, чем однообразное повторение одинаковых ячеек, составляющих кристалл. Следует отметить три существенных отличия квазикристалла Пенроуза от кристалла.

Во-первых, пенроузовский квазикристалл содержит много областей, обладающих «запрещенными» симметриями. Во-вторых, квазикристалл Пенроуза строится не из одной, а из двух или более элементарных ячеек. В-третьих, в квазикристалле Пенроуза нет равноудаленных параллельных атомных плоскостей, как в периодических структурах. Тем не менее дифракционная картина пенроузовского квазикристалла содержит набор резких пиков, что согласуется с экспериментальными данными.

Изящное описание структуры квазикристалла Пенроуза и соответствующей дифракционной картины получается, если представлять квазикристалл как срез многомерной периодической решетки. Поясним это на примере двух измерений.

Представим двумерную решетку из точек, находящихся в вершинах квадратов. Покроем горизонтальный ряд этих точек узкой полоской. Если спроектировать покрытые точки на прямую, параллельную полоске, то их проекции будут равномерно расположены на этой прямой. Они определяют периодическую последовательность и разбивают прямую на сегменты одинакового размера. Чтобы получить квазипериодическую последовательность, нужно наклонить полоску по отношению к решетке так, чтобы ее наклон задавался иррациональным числом (см. рисунок на с. 18). (Число называется иррациональным, если при записи его в виде десятичной дроби никакой набор последователь-



тарной ячейки. Структуру красного цвета нельзя получить из единственной ячейки — она квазипериодична. Будет структура периодической или квазипериодической, зависит от угла разреза. Наклон зеленой и синей плоскостей по отношению к осям кубической решетки задается рациональными числами, а красной — иррациональным числом.

ных цифр не повторяется неограниченно, например число π, или 3,1415...). Если покрытые точки спроектировать на прямую, параллельную полоске, то проекции разобьют эту прямую на квазипериодически повторяющиеся длинные и короткие сегменты.

Такая последовательность, если заменить точки атомами представляет одномерную модель квазикристалла. Как и другие квазикристаллы, квазипериодическая последовательность обладает необычными дифракционными свойствами. Казалось бы, атомы расположены не периодически и дифракционная картина должна быть размытой. Но тщательное вычисление показывает обратное. Квазипериодическая последовательность обладает резкой дифракционной картиной, что является следствием периодичности двумерной «родительской» решетки.

Дифракционная картина квазипериодической последовательности состоит из набора частых сильных и слабых пиков (см. рисунок на с. 18). Экспериментально регистрируются только самые сильные из этих пиков, но их достаточно, чтобы показать, что квазипериодическая последовательность не является кристаллом, поскольку промежутки между наблюдаемыми пиками не имеют периодичности.

Для получения двумерных квазипериодических структур нужно использовать решетку в пространстве еще большей размерности. Например, плоскость, рассекающая кубическую решетку, определяет квазипериодическую двумерную структуру, если ее наклон по отношению к осям решетки задается иррациональными числами (см. рисунок вверху). (В действительности двумерное покрытие Пенроуза с симметрией пятого порядка можно получить проекцией из 5-мерного пространства.)

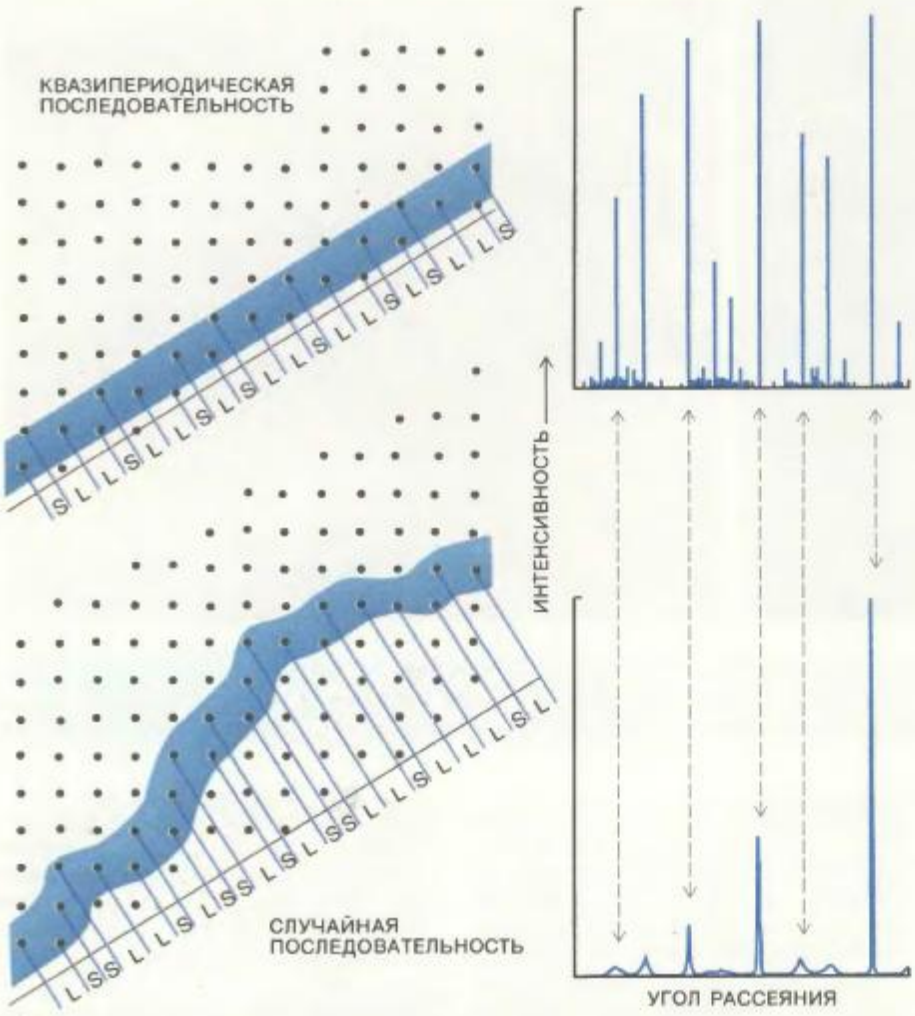
Рассуждая аналогичным образом, теоретики описали икосаэдрические квазикристаллы как трехмерные срезы гипотетического 6-мерного кристалла. Это приводит к квазипериодическим структурам, предложенным в модели Пенроуза. Подобное описание показывает, почему структура квазикристаллов может иметь необычные симметрии и все же не противоречить основам кристаллографии. В то время как возможные симметрии дифракционной картины кристалла ограничены возможными симметриями самого кристалла, симметрии квазикристалла обусловлены симметрией родительских решеток высших размерностей.

В общем случае резкость дифракционной картины квазипериодической структуры объясняется периодичностью многомерной родительской решетки.

ХОТЯ модель Пенроуза очень хорошо предсказывает дифракционные картины икосаэдрических сплавов, она не объясняет, как физическая реальность соотносится с многомерными пространствами и локальными правилами. В частности, правила стыковки Пенроуза носят локальный характер, но для построения совершенного квазикристалла Пенроуза необходимо, добавляя очередную элементарную ячейку, следить, чтобы дефекты не появились в дальнейшем. Значит, должно существовать взаимодействие удаленных атомов, согласующее расположение и относительную ориентацию ячеек. Однако это противоречит общепринятым представлениям о силах, связывающих атомы в твердых телах, которые являются относительно короткодействующими.

Другой недостаток модели Пенроуза состоит в том, что она не может объяснить беспорядок, существующий почти во всех квазикристаллах и проявляющийся в их структурных, электрических и дифракционных свойствах. Например, из модели Пенроуза следует, что совершенный квазикристалл должен проводить электричество так же хорошо, как и обычный металлический кристалл. Однако все полученные экспериментально квазикристаллы проводят электричество довольно плохо.

Более важным признаком беспорядка является уширение пиков в рентгеновских дифракционных картинах икосаэдрических сплавов, которые, согласно модели Пенроуза, должны быть абсолютно резкими. Уширение дифракционных пиков — это признак беспорядка во многих кристаллических веществах. Обычные источники беспорядка, такие, как малый размер зерен, дефекты и деформации, приводят к хорошо известным



КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ длинных и коротких сегментов (*вверху слева*) получается, если наклон полоски, покрывающей решетку, задается иррациональным числом. На рисунке наклон равен величине, обратной золотому сечению, или около 0,618. Такая последовательность дает дифракционную картину с резкими пиками (*вверху справа*). Если заменить прямую полоску извилистой, то получится случайная последовательность (*внизу слева*). Несмотря на беспорядок, дифракционная картина для этой последовательности (*внизу справа*) похожа на первоначальную для квазипериодической последовательности.

особенностям дифракционных картин. В квазикристаллах особенности другого рода.

Данные дифракции рентгеновских лучей указывают на новый тип структурного беспорядка, называемого фазонным беспорядком, который встречается только в квазикристаллах. В квазипериодических структурах в процессе роста возникает новый по сравнению с обычными кристаллами тип беспорядка: дефект появляется, когда новая ячейка или линейный сегмент пристыковываются не по правилам. Несколько отдельных «ошибок» не повлияют на дифракционные свойства всего образца, но если в образце возникает много таких дефектов, то они могут сильно исказить дифракционную картину.

Рассмотрим предельный случай, когда длинные и короткие сегменты в одномерной квазипериодической последовательности перемешаны совершенно случайным образом. Как ни странно, дифракционная картина такой случайной последовательности довольно похожа на первоначальную дифракционную картину одномерной последовательности. Дифракционные пики находятся в тех же положениях, но уширены. Ширина пика обратно пропорциональна интенсивности соответствующего пика начальной дифракционной картины, так что остаются лишь сильные максимумы. Тем не менее существование относительно резких дифракционных максимумов для случайной последовательности показывает, что квазипериодичность может сохраниться при беспорядке.

Подобные рассуждения привели нас в 1986 г. к предположению о том, что икосаэдрические сплавы обладают структурой, которой органически присущи дефекты. Наше предположение стало известно как модель икосаэдрических стекол. Случайность определяет два преимущества этой модели. Во-первых, отсутствует необходимость жестких локальных правил и квазикристаллический рост получает более правдоподобное объяснение. Во-вторых, такой случайный беспорядок хорошо объясняет уширение пиков дифракционной картины. Интересно, что вскоре после открытия квазикристаллов Шехтман и А. Блеч из Израильского технологического института в Хайфе предположили, что икосаэдрические квазикристаллы состоят из икосаэдрических кластеров, связанных случайным образом. Усовершенствовав эту теорию, мы смогли воспроизвести наблюдаемое экспериментально уширение дифракционных пиков (см. рисунок на с. 21).

Привлекательность модели икосаэдрических стекол объясняется не только тем, что в ней учитывается беспорядок. Некоторые кристаллические сплавы содержат атомные кластеры с икосаэдрической симметрией, которые могли бы служить строительными блоками в этой модели. Размер этих кластеров не превышает 1% размера, необходимого для объяснения дифракционных картин, полученных экспериментально.

В КОНЦЕ 80-х годов одновременно с развитием теоретических представлений материаловеды и химики получали все новые и новые икосаэдрические сплавы. Некоторые из них представляли разновидности сплава алюминия и марганца, но были синтезированы также и новые материалы на основе алюминия—цинка—марганца, урана—палладия—кремния и никеля—титана.

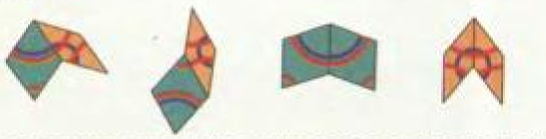
Одним из наиболее важных результатов этих исследований стало открытие того факта, что квазикристаллические фазы могут быть термодинамически устойчивы. Процесс закаливания, первоначально используемый Шехтманом и другими учеными, дает очень мелкие зерна, которые при нагревании необратимо превращаются в обычные кристаллы. К сожалению, эта метастабильность создает трудности при улучшении качества образца путем тепловой обработки или других металлургических методов. Размеры зерен первых квазикристаллов составляли всего лишь несколько тысячных миллиметра, что не позволяло проводить многие эксперименты.

Однако некоторые материалы, открытые в последние годы, сохраняют квазикристаллическую структуру при

Как построить покрытие Пенроуза

Образующими элементами покрытия Пенроуза служат два ромба, на которых нарисованы цветные линии.

При построении покрытия нужно использовать следующее правило стыковки: два ромба можно соединить, только если линии одного цвета непрерывно продолжаются от одного ромба к другому при переходе через их ребро. Несколько примеров приведены ниже:



Построение покрытия начинается с одного ромба. Каждый следующий ромб подгоняется к внешней границе уже построенного покрытия, но после этого его нельзя удалить или передвинуть. (Этот процесс чем-то напоминает рост кристалла, когда группы атомов прочно прикрепляются к поверхности «зародыша».)

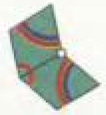
Однако построение покрытия Пенроуза осложняется, когда к данному участку на границе можно пристыковать любой из двух ромбов. Например, пропуск около общей вершины этих пяти ромбов можно заполнить одним большим или двумя маленькими ромбами.

В подобной ситуации можно добавить любой ромб, но неправильный выбор приводит в дальнейшем к новым трудностям. Может оказаться, что ромбы состыкованы по правилам, но к некоторым участкам границы добавить новые элементы покрытия уже невозможно. Например, ни большой, ни маленький ромб не подходят для заполнения выемки слева в следующем случае:

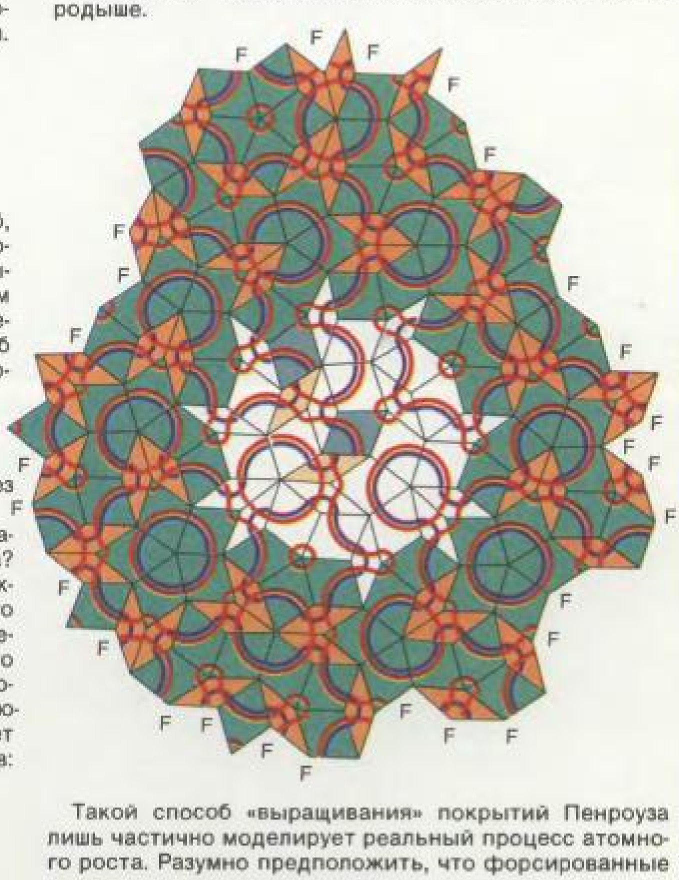
В общем если сделать неправильный выбор, то через некоторое время рост покрытия прекратится.

Можно ли разработать правила, позволяющие неограниченно продолжать построения покрытия Пенроуза? Основываясь на результатах Дж. Конвея из Кембриджского университета и Н. де Брюина из Эйндховенского технологического университета, Дж. Онода из Исследовательского центра им. Уотсона фирмы IBM и его коллеги сделали первые шаги для решения этого вопроса. Чтобы понять их метод, следует иметь в виду, что любая вершина бесконечного покрытия Пенроуза может быть окружена одной из восьми конфигураций ромбов:

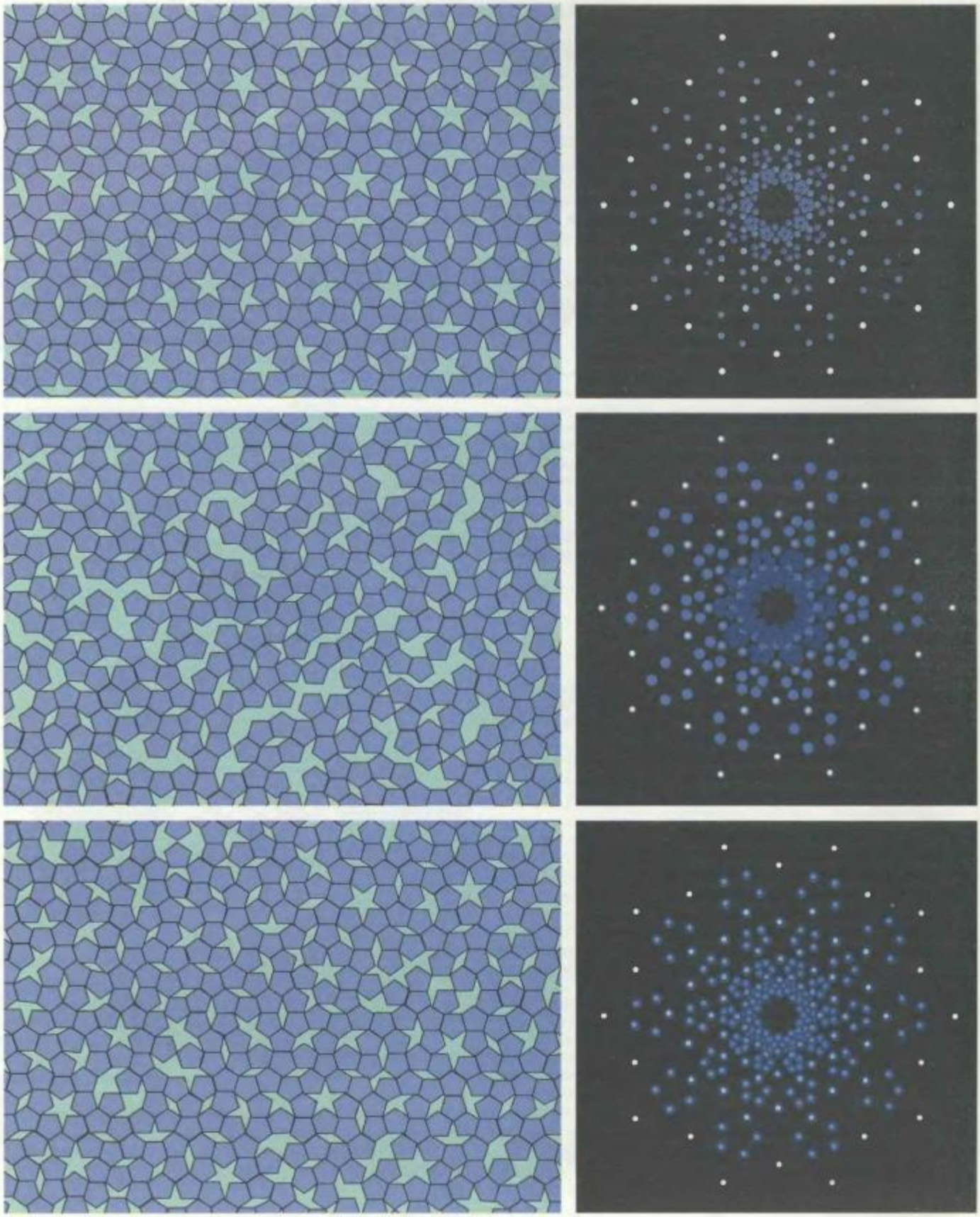
Будем называть вершину на границе растущего покрытия форсированной, если можно единственным способом завершить ее окружение ромбами и получить одну из восьми приведенных выше конфигураций. Например, вершина, отмеченная кружочком, форсированная:



Если начать строить покрытие с «зародыша», составленного из ромбов с несколькими нарушениями правил стыковки, то на границе в процессе роста все время будет по крайней мере одна форсированная вершина. На приведенном ниже рисунке такой зародыш показан белым цветом. В нем правила стыковки нарушены дважды: между голубыми и желтыми ромбами. Если добавлять элементы покрытия в окружение форсированных вершин на границе белой области, то по мере роста покрытия будут появляться все новые и новые форсированные вершины. *F*. Этот процесс может продолжаться бесконечно, и покрытие распространится на всю плоскость. Это будет совершенное покрытие Пенроуза, за исключением двух дефектов в его зародыше.



Такой способ «выращивания» покрытий Пенроуза лишь частично моделирует реальный процесс атомного роста. Разумно предположить, что форсированные вершины на границе соответствуют местам прочного прикрепления атомов к поверхности кристалла. Однако кажется маловероятным, что заполнение вершины может задержаться на неопределенное время, до тех пор пока она не станет форсированной. Странно также, что, хотя нарушение правил стыковки обязательно для создания «зародыша», новые дефекты в процессе дальнейшего роста не появляются. Возможно, будущие исследования разрешат эти противоречия.



ТРИ МОДЕЛИ предложены для объяснения структуры квазикристаллов и их дифракционных картин. Вверху слева изображена квазипериодическая решетка Пенроуза. Она состоит из пятиугольников, ромбов, звезд и «корабликов», соединенных по определенным локальным правилам. В центре слева — структура квазикристалла в модели икосаэдрических стекол, состоящая из пятиугольников, состыкованных случайным образом. Внизу слева — модель случайного покрытия, которая похожа на пенроузовскую, но допускает дефекты, запрещенные правилами стыковки в модели Пенроуза. Вычисленные дифракционные картины этих трех структур представлены соответственно справа. Их можно сравнить с экспериментальными данными. Структуры в моделях Пенроуза и случайного покрытия дают резкие дифракционные пики, а у структуры в модели икосаэдрических стекол пики размыты (*внизу справа*).

нагревании вплоть до точки плавления. Поэтому исследователям удалось изготовить образцы гораздо большего размера, выращивая квазикристалл, как обычный кристалл. Таким способом недавно созданы сплавы с размером зерен около 10 мм.

Неожиданно при медленном выращивании первых стабильных квазикристаллов из алюминия, лития и меди был обнаружен фазонный беспорядок, как и в квазикристаллах, полученных закаливанием. Это открытие, по-видимому, подтверждает правильность модели икосаэдрических стекол.

Хотя модель икосаэдрических стекол успешно предсказывает дифракционные картины, она «заходит слишком далеко при попытке учесть беспорядок». Большое количество пропусков между икосаэдрическими кластерами, заполняющими пространство, приводит к преувеличению ширины дифракционных пиков.

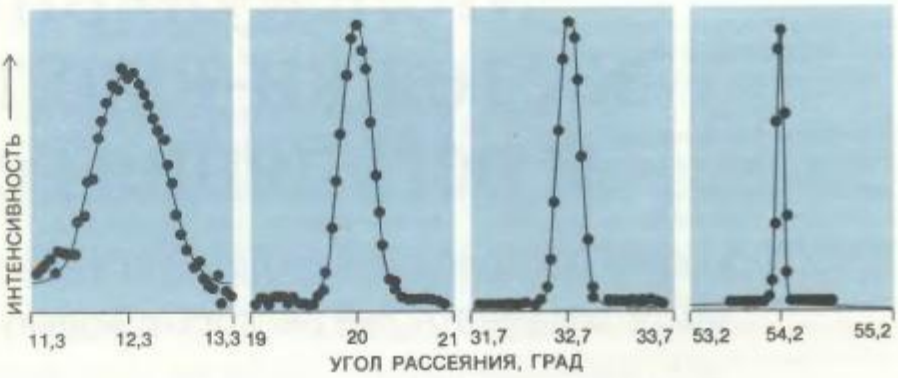
Пока сторонники модели Пенроуза и модели стекол обсуждали значение локального роста и фазонного беспорядка, была создана модель случайного покрытия, соединяющая лучшие идеи из двух предыдущих моделей. В рамках этой модели необязательно соблюдать локальные правила, пока в структуре квазикристалла нет пропусков. Интересно, что в этой модели, как и в модели Пенроуза, предсказываются абсолютно резкие дифракционные пики.

Очевидное преимущество модели случайного покрытия состоит в том, что она «обходится» локальными правилами роста. М. Видом, К. Страндбург и Р. Свендсен из Университета Карнеги — Меллона выяснили, что рост таких покрытий с дефектами можно моделировать при помощи тех же компьютерных алгоритмов, что и рост периодических кристаллов. Кроме того, при определенных условиях эти покрытия со множеством дефектов термодинамически устойчивее, чем обычный кристалл. Те же исследователи и К. Хенли из Бостонского университета показали, что беспорядок в квазикристаллах может сделать их устойчивее, по крайней мере по отношению к переходу в некоторые кристаллические фазы. Чем выше температура, тем большее значение имеет беспорядок, поэтому квазикристаллы достигают устойчивого равновесия лишь при повышенных температурах.

В последние годы развитие всех трех описанных теорий было направлено, в частности, на объяснение экспериментальных данных по дифракции. Например, теоретики придумали механизм появления беспорядка в идеальных квазикристаллах, лучше объясняющий уширение дифракционных пиков. Они разработали алгоритмы роста почти идеальных покрытий Пенроуза по правилам, которые, вероятно, являются локальными. Одновременно В. Элсер, работавший тогда в AT&T Bell Laboratories, модифицировал модель стекол для роста квазикристаллического зерна и обнаружил, что ширина пиков на вычисленной дифракционной картине соответствует эксперименту. Все эти модели в определенной степени учитывают фазонный беспорядок; некоторые ученые считают, что различие между ними чисто внешнее.

Однако ряд экспериментов, выполненных в 1989 г., по существу ограничил область правдоподобных моделей двумя: моделью Пенроуза и моделью случайного покрытия. Дело в том, что физики из Университета Тохоку в Японии открыли новые икосаэдрические сплавы, в том числе сплавы алюминия, меди и железа, а также алюминия, меди и рутения. Оказалось, что связанное с фазонным беспорядком уширение дифракционных пиков, наблюдавшееся во всех предыдущих исследованиях, отсутствует у этих сплавов. П. Бэнсел из Исследовательского центра им. Т. Уотсона фирмы IBM независимо подтвердил эти результаты и показал, что при нагревании и охлаждении сплава железа фазонное уширение пиков может усиливаться или ослабляться.

Какая же модель правильно описывает структуру квазикристаллов? В поисках ответа на этот вопрос несколько лабораторий, в том числе и мы, продолжают исследовать факторы, влияющие на получение совершенных квазикристаллов.



ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ дифракционных свойств квазикристалла из алюминия, меди и лития его облучали рентгеновскими лучами и измеряли интенсивность рассеянных лучей в зависимости от угла дифракции. Из графиков видно, что при увеличении угла рассеяния пики становятся более резкими. Это признак фазонного беспорядка, обнаруженного только в квазикристаллах. Измерения проводили П. Хейни, П. Хорн, Ф. Гейл и др. из National Synchrotron Light Source.

Тем временем другие исследователи пытаются использовать квазикристаллы на практике. Йи Хе, С. Пун и Г. Шифлет из Университета шт. Виргиния на основе представлений о квазикристаллах создали металлические стекла, содержащие до 90% алюминия. Они надеются использовать легкость и очень высокую прочность этих материалов. Ж.-М. Дюбуа и его коллеги из Национальной школы горного машиностроения из Нанси (Франция) используют квазикристаллы для создания покрытий с малым трением.

Квазикристаллы продолжают ставить вопросы перед учеными, занимающимися физикой твердого тела. Это происходит потому, что почти все представления об электрических, тепловых и механических свойствах кристаллов основаны на упрощающем предположении о периодичности их структуры. Столкнувшись с квазикристаллическими структурами, мы должны выйти на новый уровень понимания физики конденсированного состояния.

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

по всем вопросам полиграфического брака, обнаруженного в журнале, просим обращаться по адресу:
127576, Москва, Илимская 7,
Типография В/О «Внешторгиздат»
Госкомпечати СССР

Молекулярные застежки-«молнии» и регуляция генов

Регулярно расположенные остатки аминокислоты лейцина могут соединять две белковые молекулы наподобие застежки-«молнии». Такой механизм играет роль во «включении» и «выключении» генов

СТИВЕН ЛЭНИР МАКНАЙТ

КЛЕТКИ человека и других многоклеточных организмов, словно современные ученые, склонны к специализации. Вот пример. Клетки кожи, известные под названием кератиноцитов, которые образуют защитный слой между телом животного и окружающей средой, совершенно не похожи на клетки печени — гепатоциты, которые накапливают гликоген, служащий источником энергии, удаляют из кровотока токсичные вещества и секретируют многие компоненты плазмы крови, в частности альбумин. Вопрос о том, каким образом возникают подобные различия, давно стоит на повестке дня в науке.

На этот вопрос можно дать несколько поверхностный ответ: отличительные особенности клеток определяются теми белками, которые в них образуются помимо некоторого обязательного набора белков, необходимых для жизнедеятельности клетки и синтезирующихся во всех клетках организма. Эти белки и обусловливают специализацию клетки. Например, механическая прочность кератиноцитов объясняется наличием волокнистых белков кератинов, формирующих систему длинных переплетающихся тяжей. А гепатоциты способны накапливать гликоген благодаря тому, что в них синтезируются специфические ферменты, предназначенные для выполнения этой функции.

При более глубоком подходе можно добавить, что, поскольку информация о синтезе белков содержится в генах, отличительные свойства клеток определяются тем, какие гены в них активны.

Но и этим более точным ответом вопрос не исчерпывается, поскольку не объясняется, почему те или иные гены в одних клетках активируются, а в других — нет. Практически все клетки организма содержат один и тот же набор генов. Однако гены кератинов эффективно экспрессируются только в кератиноцитах; это означает, что происходит транскрипция этих генов с образованием матричной РНК (мРНК) и затем ее трансляция, т. е. синтез кератинов. Точно так же только в гепатоцитах экспрессируется ген альбумина.

Таким образом, остается проблема дифференциальной экспрессии генов, однако она мало-помалу поддается исследованию, как и более общий вопрос о том, как «включается» и «выключается» любой ген. Работая над этой проблемой, мои коллеги и я в Институте Карнеги в Вашингтоне основывались на сделанном другими исследователями открытии, заключающемся в том, что экспрессия генов в значительной степени регулируется белками, которые связываются с ДНК.

Мы установили, что многие такие регуляторные белки соединяются попарно. Это соединение необходимо для их связывания с ДНК. По-видимому, оно играет роль в регуляции активности генов также помимо связывания с ДНК и определяет, в каких клетках данный ген включен или выключен. «Зубчики», которые как в застежке-«молнии» соединяют друг с другом молекулы регуляторных белков, почти всегда состоят из остатков аминокислоты лейцина, и мы назвали такие «зубчатые» участки белковых молекул лейциновыми «молниями».

ПЕРВУЮ лейциновую «молнию» мы обнаружили в 1987 г., когда изучали, каким образом белки, связывающиеся с ДНК, активируют гены. Тогда такие белки были только что открыты и уже кое-что выяснилось в их функционировании, но исследования зашли в тупик. Чтобы понять суть этого тупика, вспомним состояние молекулярной биологии в то время.

Белки — регуляторы генов были открыты в результате исследований структуры ДНК и организации генов. К началу 80-х годов уже более четверти века было известно, что ДНК представляет собой двойную спираль из двух цепей, образованных последовательно соединенными нуклеотидами четырех типов. Каждый нуклеотид состоит из остатка сахара, остатка фосфорной кислоты и так называемого азотистого основания — аденина (A), цитозина (C), гуанина (G) либо тимина (T). Цепи ДНК соединяются благодаря спариванию оснований, причем аденин всегда спаривается только с тимином, а цитозин с гуанином; связанные друг с другом цепи ДНК, как говорят, комплементарны.

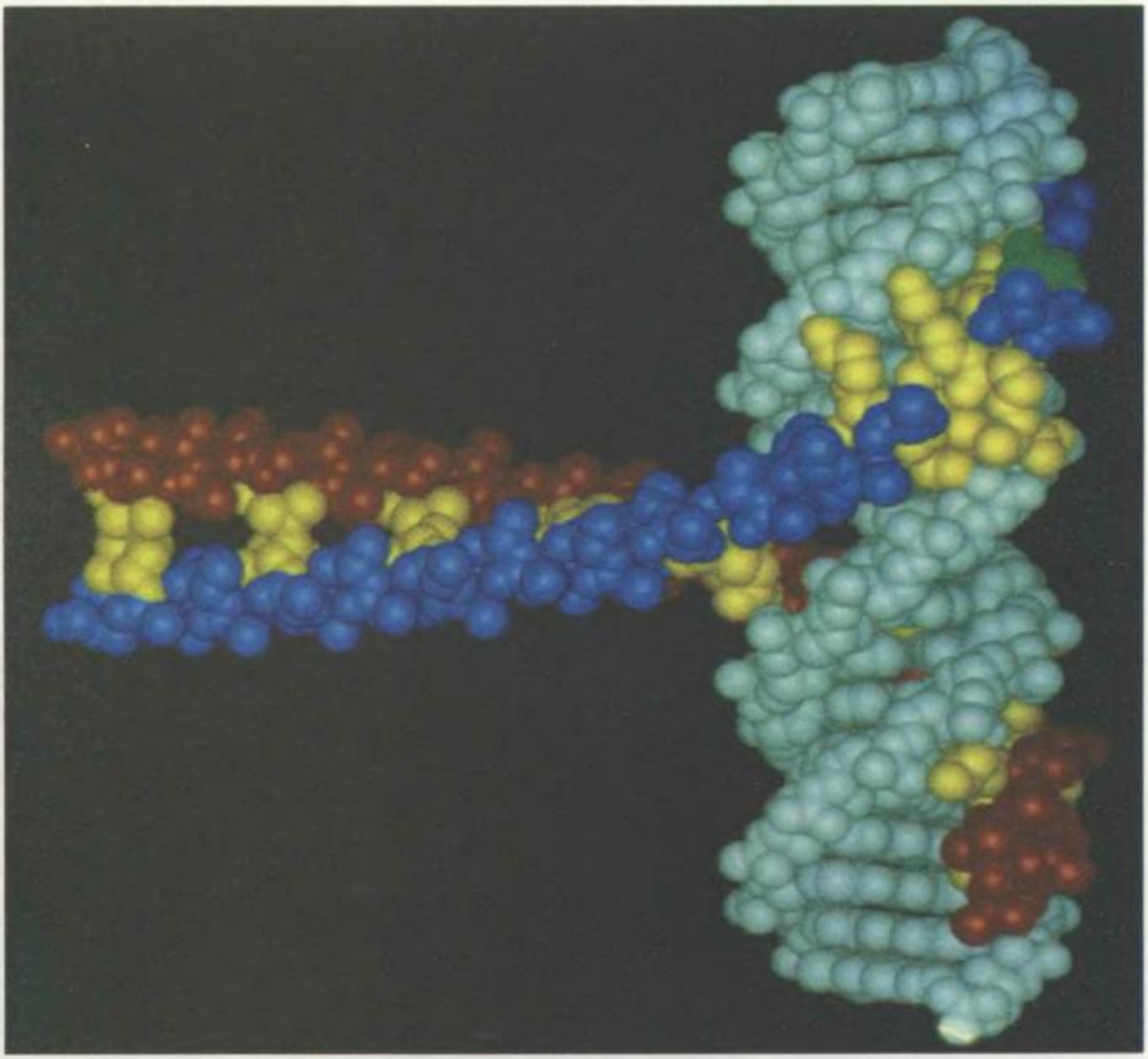
Было также установлено, что в генах имеются кодирующие области и регуляторные элементы. Последовательность нуклеотидов кодирующей области определяет последовательность аминокислот в белке — продукте гена. От регуляторных элементов зависит транскрипция кодирующей области. Эксперименты на бактериях, а затем и на многоклеточных организмах показали, что один из регуляторных элементов — промотор — располагается в непосредственной близости от кодирующей области. Он служит сигналом о том, в каком именно участке молекулы ДНК фермент, называемый РНК-полимеразой, должен начинать транскрипцию. Промотор также влияет на скорость транскрипции.

В результате изучения вирусов в 80-е годы были открыты другие регуляторные элементы, которые назвали энхансерами. Энхансер может располагаться за тысячи нуклеотидных пар от управляемой им кодирующей об-

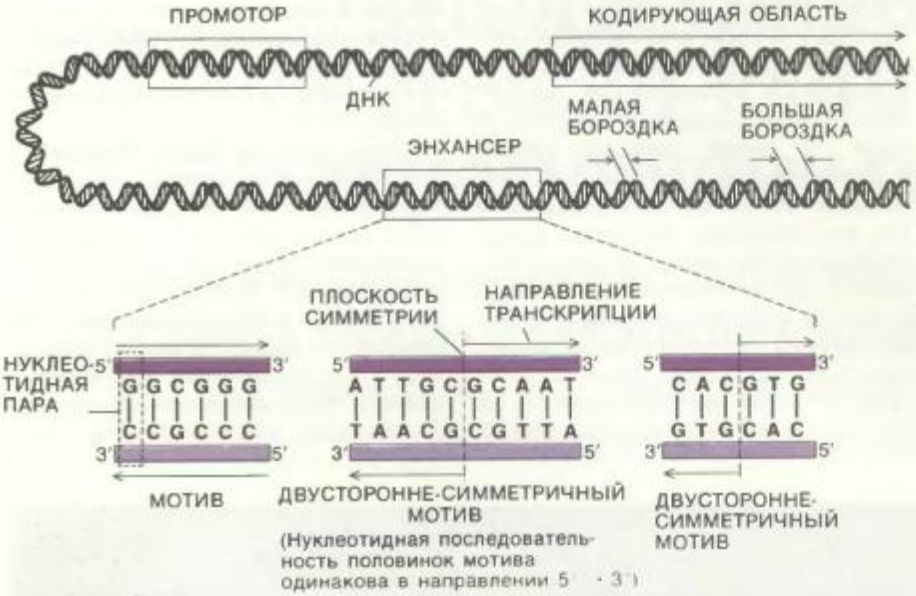
ласти. В остальном же эти регуляторные элементы подобны промоторам (см. сатью: Г. Фельзенфельд. ДНК, «В мире науки», 1985, № 12). Например, как и промоторы, энхансеры увеличивают скорость транскрипции; собственно, они действуют совместно с промоторами. И промоторы, и энхансеры могут состоять из нескольких сот нуклеотидных пар, в которых можно выявить «мотивы» — определенные короткие последовательности длиной 6—10 нуклеотидных пар. Обычно промотор или энхансер содержит от 5 до 10 мотивов, те или иные из которых могут повторяться.

Здесь следует отметить, что существуют и такие регуляторные элементы, известные под названием силансеров (от англ. *silence* — молчание), которые подавляют экспрессию генов. В своей изящной работе А. Джонсон из Калифорнийского университета в Сан-Франциско показал, что силансеры наподобие энхансеров способны влиять на гены, находясь от них на больших расстояниях, и что они тоже представляют собой комбинации мотивов нуклеотидных последовательностей. По всей вероятности, силансеры регулируются во многом так же, как энхансеры. В этой статье я остановлюсь на тех регуляторных элементах, которые активируют гены, хотя силансеры также чрезвычайно важны для генной регуляции.

После того как были обнаружены промоторы и энхансеры, поначалу, естественно, оставалось непонятным, как они работают. Важным достижением здесь стало исследование, проведенное Р. Тьяном и его коллегами в 1984 г. в Калифорнийском университете в Беркли. Они установили, что в промоторе так называемого раннего гена вируса млекопитающих SV40 мотив, повторяющийся 5 раз,



СВЯЗЫВАНИЕ ПО ТИПУ ЗАСТЕЖКИ-«МОЛНИИ» двух белковых молекул (*левая часть рисунка*) осуществляется благодаря взаимодействию остатков аминокислоты лейцина (*желтые сферы*). Оно способствует связыванию регуляторных белков с ДНК (*бледно-зеленая*) и тем самым «включению» (активации) или, наоборот, «выключению» генов. В правой части рисунка желтые сферы изображают положительно заряженные боковые группы аминокислот, укрепляющие связывание белков с ДНК. Ярко-зеленым цветом изображен остаток аспарагина, который, вероятно, обусловливает закручивание вокруг ДНК сегментов белка, располагающихся в «большой» (широкой) бороздке ДНК.



ТИПИЧНЫЙ ГЕН включает в себя область, кодирующую белок, и два регуляторных элемента — промотор и энхансер, — которые влияют на транскрипцию кодирующей области, т. е. на синтез ее РНК-копии, которая затем служит матрицей при трансляции — синтезе соответствующего белка. Промоторы и энхансеры состоят из нескольких «мотивов» — коротких нуклеотидных последовательностей, которые формируют участки связывания регуляторных белков. Нуклеотиды различаются по входящим в их состав основаниям — аденину (A), цитозину (C), гуанину (G) и тимину (T). Белки с лейциновыми «молниями» часто связываются с двусторонне-симметричными мотивами; каждая белковая молекула в димере связывается с одной половиной мотива.

способен прочно связывать белок SP1, причем после связывания этого белка избирательно активируется транскрипция данного гена. Помимо бактериальных систем это был первый случай, когда удалось доказать, что регуляторные элементы генов могут управляться связывающимися с ними белками. Перечень подобных регуляторных белков, многие из которых найдены в многоклеточных организмах, продолжает расти.

Открытие Тьяна позволило предположить, каков возможный механизм активации генов. Согласно этой гипотезе, каждый мотив в промоторе или энхансере представляет собой участок связывания какого-то регуляторного белка. Экспрессия гена будет значительной только в том случае, если со всеми мотивами в его промоторе и энхансере свяжутся соответствующие белки. Поэтому экспрессия данного гена будет происходить только в тех клетках, которые способны синтезировать полный набор регуляторных белков, узнающих отдельные мотивы.

Предположение, согласно которому отдельные мотивы представляют собой участки связывания регуляторных белков, оказалось правильным; подтвердилось и то, что для адекватной регуляции гена необходимо связывание определенного белка с каждым из мотивов его регуляторной области. Однако совершенно неожиданно мои коллеги и я установили, что, хотя альбумин синтезируется только в гепатоц. тах, в клетках мозга и селезенки присутствуют белки, способные узнавать известные регуляторные элементы гена альбумина.

Это и подобные наблюдения других исследователей заставляли полагать, что события, приводящие к включению гена, сложнее, чем считалось ранее. По всей видимости, узнавание каждого из мотивов регуляторными белками само по себе недостаточно. Чтобы разобраться в механизме действия промоторов и энхансеров, следовало обратиться к изучению белков, связывающихся с ДНК.

Мои коллеги и я присоединились к многочисленным исследователям, взявшимся за эту задачу. Мы решили заняться белком, узнающим мотив CAT — так коротко обозначают нуклеотидную последовательность CCAAT, — который присутствует во многих промоторах генов вирусов и млекопитающих. Планировалось выделить небольшое количество этого белка и получить против него антитела, которые позволили бы точно установить, когда и где в организме млекопитающего он функционирует.

С помощью антител предполагалось также клонировать ген, кодирующий этот белок, другими словами, выделить ген и затем синтезировать его продукт в существенных количествах, что открыло бы возможность детально изучить регуляторный белок и, быть может, найти указания на то, каким образом он способствует активации других генов. Можно было бы определить аминокислотную последовательность белка, выяснить, хотя бы отчасти, его пространственную структуру, механизм связывания с ДНК, а также природу взаимодействия с другими регуляторными белками.

Этот вполне логичный план оказалось весьма трудно осуществить. В самом деле, мои коллеги П. Джонсон, Б. Грейвс, У. Лэндшульц и я потратили три года только на то, чтобы очистить искомый белок и получить антитела против его небольшого фрагмента.

Когда белок был получен в чистом виде, обнаружилось, что он обладает сродством не только к мотиву CAT, присутствующему во многих промоторах, но также к определенному мотиву, общему для многих энхансеров. Поэтому мы назвали его сокращенно C/EBP (от англ. CAT/Enhancer-Binding Protein — белок, связывающийся с CAT и энхансерами).

Используя антитела, мы выяснили, что данный белок синтезируется не во всех тканях. Он имелся в значительных количествах в легких, печени, тонком кишечнике, плаценте, а также в жировой ткани. Однако в большинстве двух тканей тела взрослого млекопитающего белка C/EBP практически не было. Притом в тех тканях, в которых этот белок присутствовал, он содержался только в специализированных клетках, определяющих физиологические свойства данной ткани. Например, C/EBP синтезировался в гепатоцитах, но не в клетках секреторных протоков печени.

Это наблюдение свидетельствовало в пользу того, что C/EBP, возможно, является компонентом системы, определяющей избирательную экспрессию генов, и способствует активации генов тех белков (таких, как альбумин), которые определяют специфику клеток. Вскоре нам удалось показать, что C/EBP действительно влияет на образование специфических белков в гепатоцитах и клетках жировой ткани. Итак, мы выделили как раз такой регуляторный белок, который требуется, чтобы изучить, каким образом у млекопитающих регулируется дифференциальная экспрессия генов.

Клонировав ген, кодирующий белок C/EBP, и определив его полную нуклеотидную последова-

тельность, мы установили последовательность из 359 аминокислот этого белка и при помощи компьютера сравнили ее с последовательностями, записанными в банке данных, чтобы узнать, не обладает ли она сходством с известными белками. Если бы обнаружились близкие последовательности в участках молекул других белков, это позволило бы выявить в белке C/EBP участки, потенциально важные для его функционирования. Зачастую участки аминокислотных последовательностей, которые играют важную функциональную роль, сохраняются в ходе эволюции; другими словами, сходные участки обнаруживаются в различных функционально родственных молекулах как внутри вида, так и у различных видов живых организмов.

Компьютерный поиск показал, что участок белка C/EBP длиной 60 аминокислот очень близок по структуре участкам молекул двух других белков — продуктов протоонкогенов *myc* и *fos*. Протоонкогены — это нормальные гены организма, которые могут вызывать рак, если в них происходят определенные мутации. Было известно, что часть выявленного сегмента C/EBP участвует в связывании с ДНК. Нормальные функции белков Myc и Fos не были известны, однако тот факт, что они имеют участок, весьма сходный с участком связывания ДНК белка C/EBP, позволял предположить, что эти гены тоже кодируют регуляторные белки. Другие исследователи продемонстрировали, что белки Myc и Fos действительно являются регуляторными.

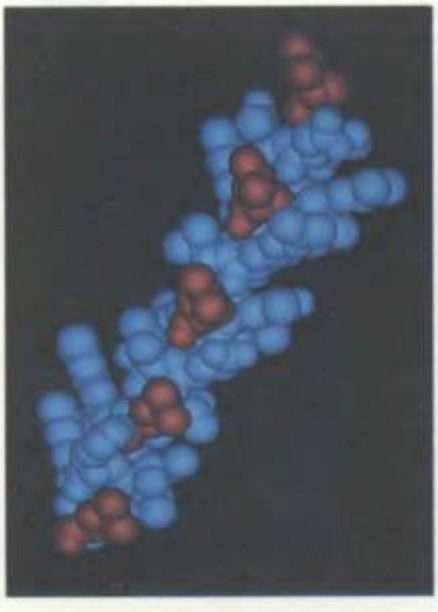
Тем временем мы занялись расшифровкой пространственной структуры обнаруженных участков. От третичной структуры белка, т. е. от его конфигурации в пространстве, которая определяется аминокислотной последовательностью, зависит взаимодействие белка с другими молекулами. К сожалению, надежных правил для предсказания формы белковой молекулы по последовательности составляющих ее аминокислот не существует, поэтому пришлось обратиться к догадкам (см. статью: Ф. Ричардс. Проблема сворачивания полипептидной цепи белков, «В мире науки», № 3, 1991).

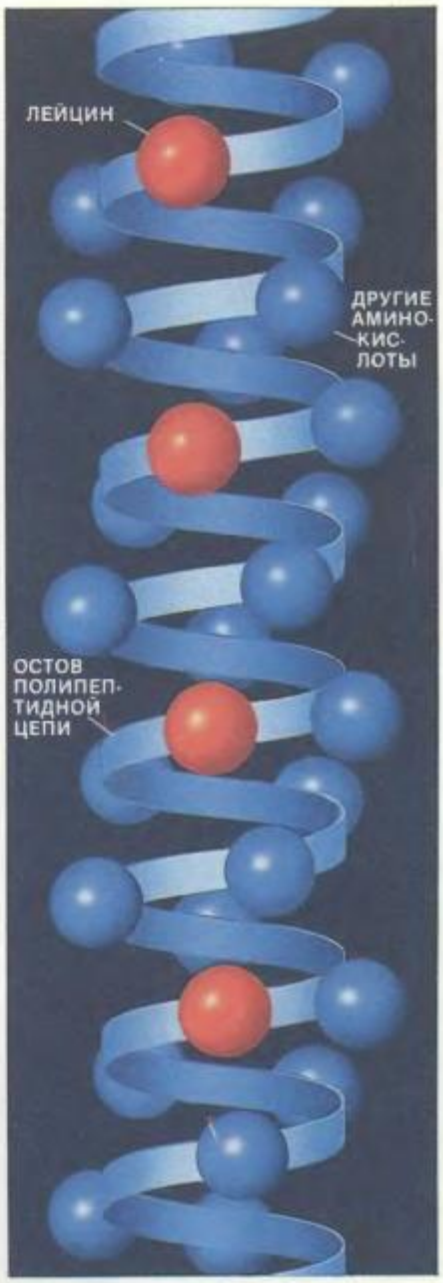
Как известно, во многих белках некоторые участки полипептидной цепи образуют так называемую α-спираль. И мы вначале попытались выяснить, могут ли быть подобные структуры в гомологичных (т. е. имеющих сходные аминокислотные последовательности) сегментах белков C/EBP, Myc и Fos. При наличии остатков пролина и глицина структура типа α-спирали была бы маловероятна; эти аминокислоты очень редко встречаются в спиралях. Оказалось, что в сходных участках рассматриваемых белков пролина и глицина нет.

Нередко аминокислотные остатки, различающиеся по химическим свойствам, располагаются в α-спирали с противоположных сторон (такие структуры называют амфипатическими). Например, на одной стороне могут находиться гидрофильные (имеющие сродство к воде) аминокислоты, а на другой — гидрофобные (отталкивающие воду). Если бы в рассматриваемых участках обнаружилась такая амфипатия, это свидетельствовало бы об их спиральной структуре. Лэндшульц построил спиральную модель сегмента молекулы C/EBP длиной 35 аминокислот, и получилось, что при такой структуре гидрофобные и гидрофильные аминокислотные остатки действительно оказываются пространственно разделены.

Поскольку гидрофобные аминокислоты склонны к взаимодействию с другими гидрофобными молекулами, казалось вероятным, что гидрофобные участки поверхности белковой молекулы могут взаимодействовать с гидрофобными участками других белков, тогда как гидрофильные участки — с водой, которая является одним из основных компонентов содержимого клетки. В конце концов нам удалось подтвердить, что гидрофобная часть поверхности белка C/EBP действительно взаимодействует с другими белками, но вышло это необычным способом.

ПОМНЮ, как, рассматривая карандашный набросок модели α-спирали белка C/EBP, выполненный Лэндшульцем накануне Рождества 1987 г., я, к своему удивлению, заметил, что остатки лейцина — крайне гидрофобной аминокислоты, боковая группа которой заметно выдается от остова полипептидной цепи, — расположены регулярно через каждые 7 аминокислотных остатков. В результате остатки лейцина должны были





ЛЕЙЦИНОВАЯ «МОЛНИЯ» (*вверху*) была обнаружена, когда короткий сегмент белка C/EBP представили в виде α-спирали (эта структура свойственна многим белкам). В этом участке каждый седьмой аминокислотный остаток является лейцином и они располагаются один над другим. Компьютерная модель (*слева*) показывает другое изображение того же участка (*лейцин красный, остальные аминокислоты синие*).

оказаться рядом в одной плоскости вдоль длинной оси α-спирали, образуя по существу непрерывный гребень.

Упорядоченное расположение остатков лейцина наводило на мысль о том, что они служат какой-то цели, возможно, участвуют в предполагаемых гидрофобных взаимодействиях. Лэндшульц и я проанализировали структуры белков Myc и Fos, чтобы выяснить, наблюдается ли в них то же самое — это подтвердило бы, что повтор лейцина с периодом 7 аминокислотных остатков важен для функционирования молекул. К нашей радости, было установлено, что участки белков Myc и Fos, гомологичные белку C/EBP, при структуре α-спирали не только являются амфипатическими, но в них также повторяется лейцин через каждые 7 аминокислотных остатков.

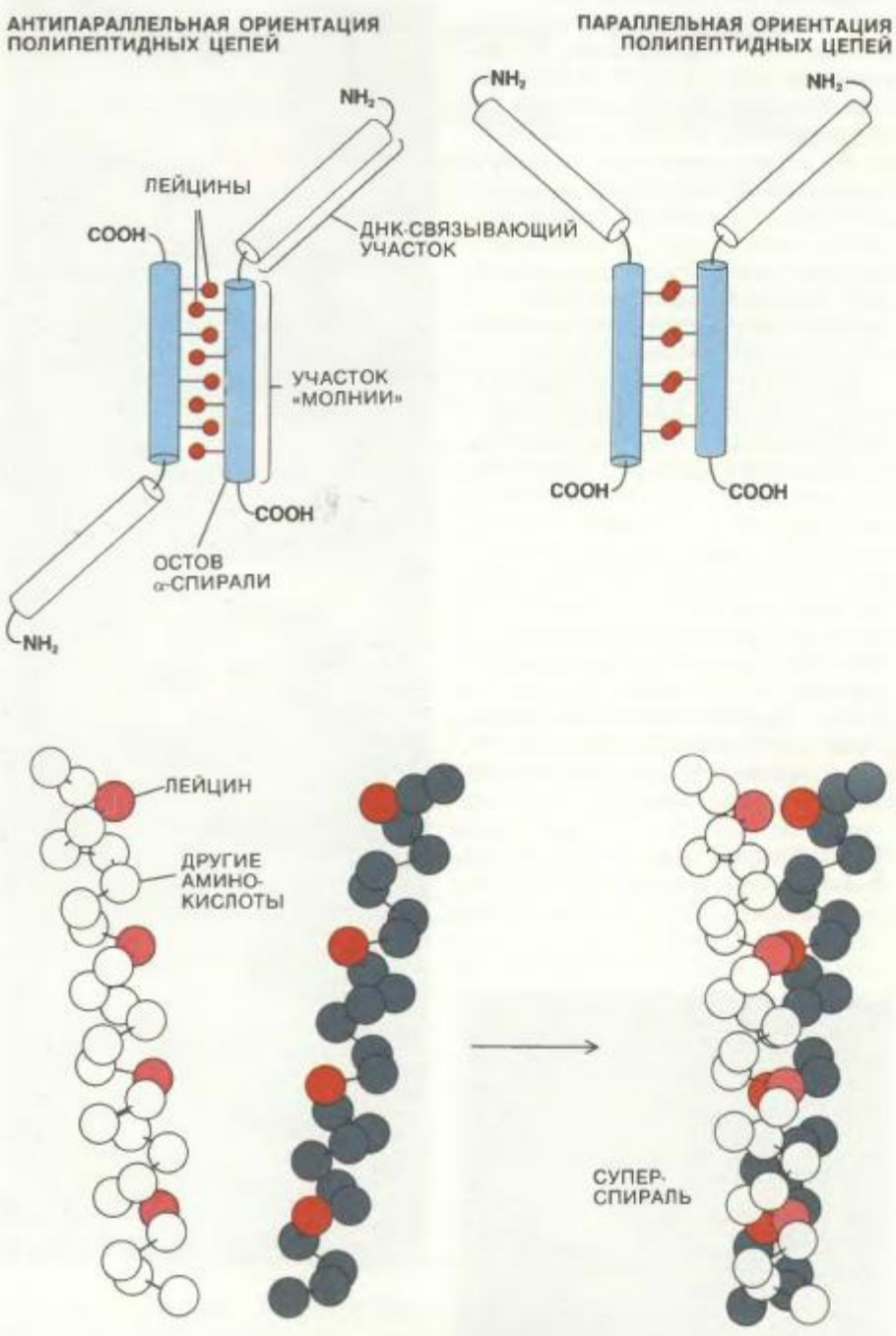
Теперь мы знаем, что в регуляторных белках повторяющиеся остатки лейцина позволяют белковым молекулам соединяться попарно своими участками по типу застежки-«молнии», образуя димеры. Однако понимание этого пришло не сразу, базируясь на ряде открытий.

Во-первых, мы обратили внимание на тот ключевой факт, что мотивы нуклеотидной последовательности, с которыми связывается белок C/EBP, обладают симметрией, что характерно для многих промоторов и энхансеров. Такие мотивы состоят из двух одинаковых половинок (см. рисунок на с. 24). М. Пташне и его коллеги из Гарвардского университета продемонстрировали ранее, что у бактерий с подобными мотивами связываются белковые димеры и что каждая субъединица димера взаимодействует с одной из половинок мотива (см. статью: "A Genetic Switch in a Bacterial Virus", by Mark Ptashne, Alexander D. Johnson and Carl O. Pabo, Scientific American, November, 1982). Исходя из этих данных, мы предположили, что белок C/EBP образует димеры и в таком виде связывается с ДНК.

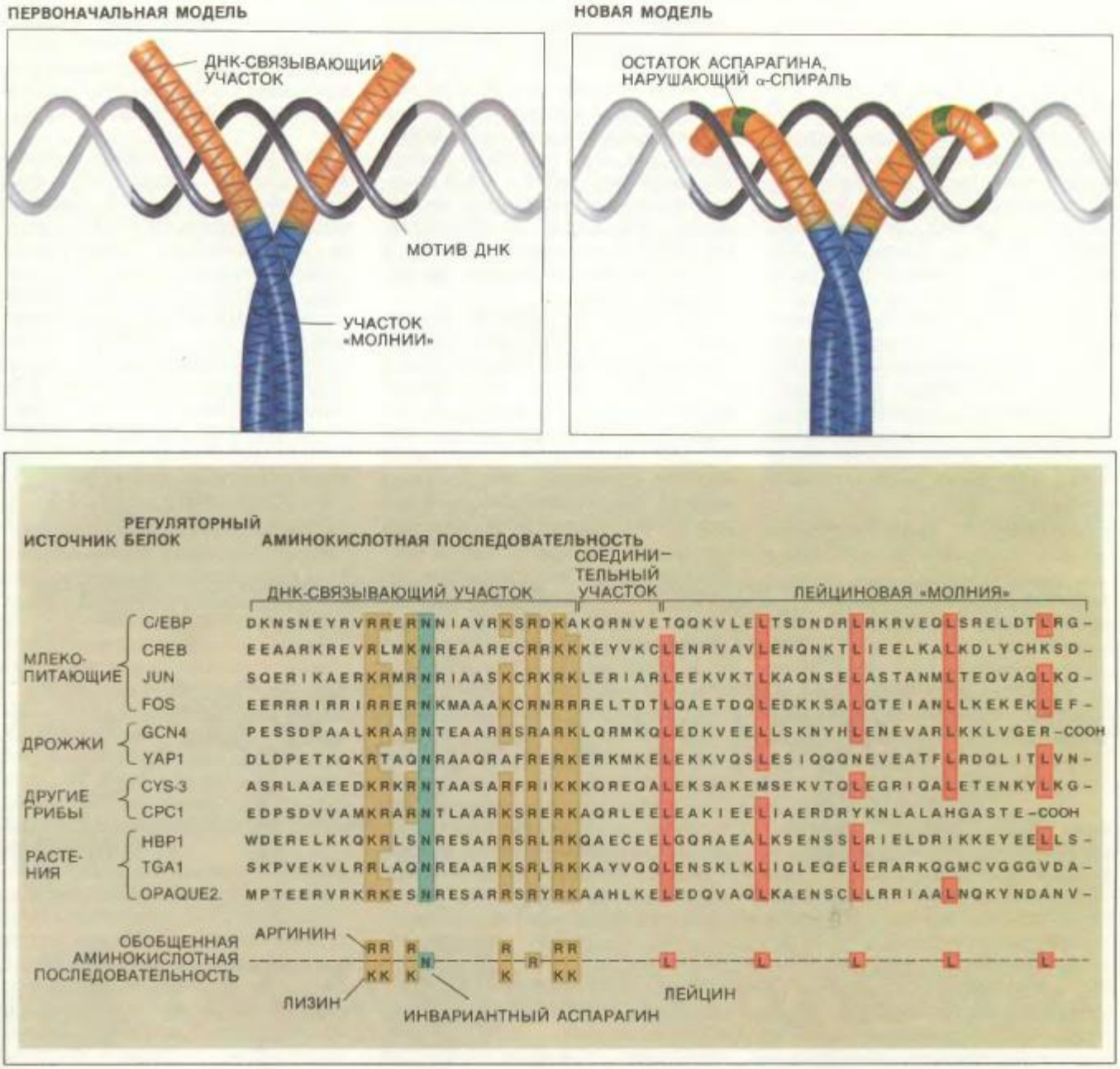
Во-вторых, стали известны еще два белка, похожие на C/EBP. Один из них, под названием GCN4, является генным регулятором у дрожжей. К. Струл и его коллеги из Гарвардского университета установили, что мотив ДНК, с которым связывается GCN4, обладает симметрией и что с ним взаимодействует димер GCN4.

Второй белок, идентифицированный П. Вогтом с сотрудниками из Университета Южной Калифорнии, — это продукт протоонкогена *jun*. Т. Карран из Института молекулярной биологии Роша показал, что белок Jun способен соединяться с белком Fos, так что образуется димер. Раскрытие механизма возникновения такой комбинации, вероятно, позволило бы понять, каким образом эти белки функционируют в клетке.

Участки аминокислотных последовательностей белков GCN4 и Jun, гомологичные белку C/EBP, содержали остатки лейцина в каждом седьмом положении гипотетической α-спирали. Обобщив все эти наблюдения, Лэндшульц, Джонсон и я высказали предположение, что роль амфипатических α-спиралей заключается в формировании поверхности, позволяющей белкам соединяться в димеры, и что образование димеров требуется для связывания с ДНК. Остатки лейцина обладают сильным сродством друг к другу, поэтому мы постулиро-



СВЯЗЫВАНИЕ БЕЛКОВ по типу застежки-«молнии». Если, как представлялось ранее, в участках «молний» полипептидные цепи соединяющихся белковых молекул антипараллельны, остатки лейцина должны входить в промежутки, как зубчики настоящей застежки-«молнии» (*вверху слева*). Если эти участки параллельны, то остатки лейцина будут располагаться бок о бок (*вверху справа*). Теперь известно, что правилен второй вариант, при котором участки белковых молекул, связывающиеся с ДНК, нужным образом контактируют с двусторонне-симметричными мотивами. Белковые молекулы, соединяясь, образуют так называемую суперспираль (*внизу*).



ДНК-СВЯЗЫВАЮЩИЙ УЧАСТОК белка с лейциновой «молнией» является α-спиралью. Вначале предполагалось, что она непрерывная и выступает вбок от ДНК (*вверху слева*). Сравнение аминокислотных последовательностей 11 белков (*внизу*) показало, что в том участке, который, как считалось, выступает, определенные аминокислоты в разных молекулах одинаковы (*выделены желтым цветом*); это свидетельствовало, что они контактируют с ДНК, способствуя связыванию. Обнаружилось также, что аспарагин (*зеленый*), который может нарушать ход спирали, всегда расположен в определенном месте ДНК-связывающего участка каждого белка. Вероятно, здесь имеется изгиб выступающей α-спиральной части белковой молекулы, которая в результате контактирует с ДНК по всей длине (*вверху справа*). (Каждая аминокислота обозначена одной буквой.)

вали, что лейциновый «гребень» одной белковой молекулы будет входить в такую же структуру другой молекулы, пристегивая их друг к другу по типу застежки-«молнии».

На сегодняшний день эти предположения подтверждаются многочисленными наблюдениями. Так, мутации, нарушающие формирование α-спирали в участке соединения белковых молекул, предотвращают образование димеров. Образование димеров также блокируется при мутациях, ведущих к замене лейцина на аминокислоты, способные к более слабым гидрофобным взаимодействиям. Все мутации, нарушающие образование димеров белковых молекул, блокируют и связывание этих белков с ДНК.

Первоначально мы считали, что участки, обеспечивающие соединение белковых молекул, в димере имеют антипараллельную ориентацию, так что боковые группы остатков лейцина одной молекулы входят в промежутки между остатками лейцина другой, как зубчики настоящей застежки-«молнии». Однако впоследствии П. Ким и Э. О'Шеа из Института медико-биологических исследований Уайтхеда при Массачусетском технологическом институте, применив разнообразные подходы, установили, что участки разных молекул, образуя застежку-«молнию», располагаются параллельно, так что остатки лейци-

на соединяющихся молекул размещаются бок о бок, а не друг между другом (см. рисунок на с. 27).

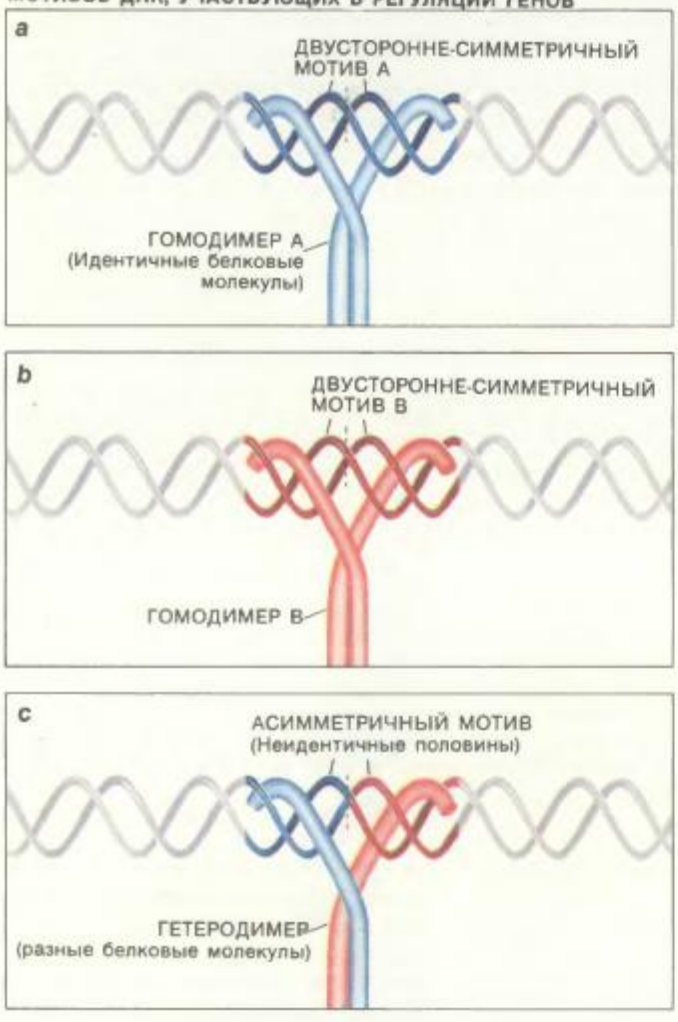
Далее Ким и О'Шеа показали, что соединяющиеся α-спиральные участки образуют классическую суперспираль — хорошо известную структуру, которая имеет место в димерах многих длинных фибриллярных белков, в том числе ламинов, формирующих ядерную оболочку, и кератинов. Молекулы фибриллярных белков соединяются посредством регулярно расположенных гидрофобных аминокислот, которые представлены, однако, не только лейцином. Таким образом, лейциновая «молния» — это, так сказать, вариация на популярную тему; вероятно, она возникла в ходе эволюции для обеспечения прочных связей между короткими α-спиральными участками.

Мы предположили также, что молекулярные застежки-«молнии» могут соединять попарно либо одинаковые белковые молекулы, так что образуются гомодимеры, либо различные — такие, как белки Fos и Jun — с образованием гетеродимеров. Идея о связывании двух различных белков была наиболее смелой в нашей модели, однако в настоящее время она доказана несколькими исследователями. Среди гетеродимеров известны, в частности, пары различных вариантов белка C/EBP.

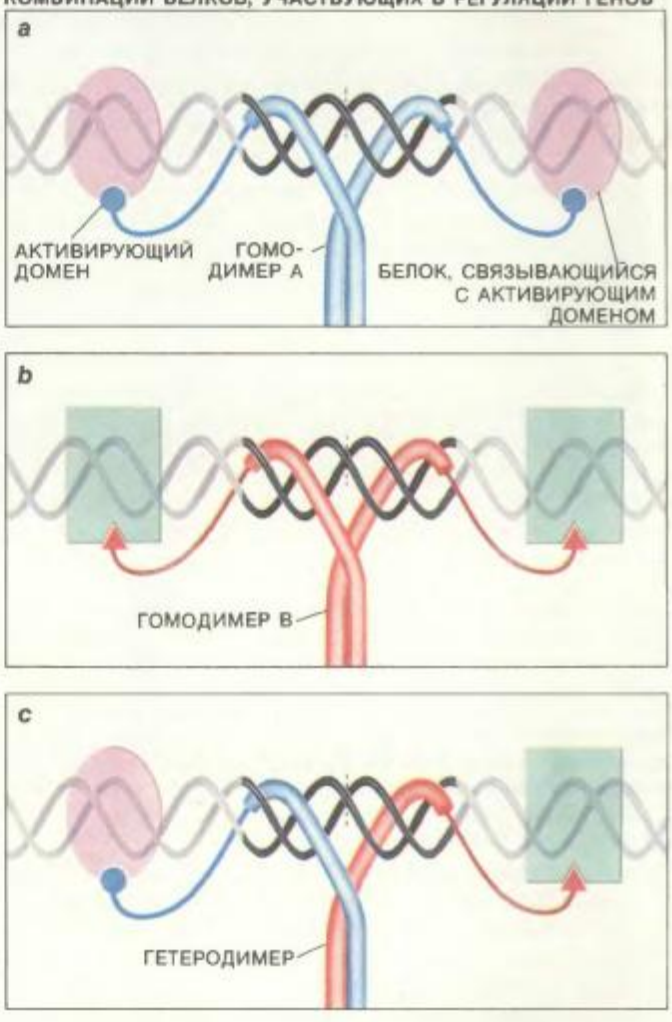
Представлялось вполне вероятным, что такое гетерологичное связывание может играть важную роль в регуляции активности генов. Однако для более глубокого понимания значения гетеродимеров не хватало прежде всего информации о том, каким образом соединение двух белковых молекул застежкой-«молнией» помогает их связыванию с ДНК. Хотя участок белка, формирующий лейциновую «молнию», и обеспечивает образование димеров, необходимых для связывания с ДНК, сам этот участок связываться с ДНК не способен.

ЕЩЕ НА первых этапах изучения C/EBP мы заметили, что в этом белке вблизи лейциновой «молнии» находится участок, богатый осно́вными (положительно заряженными) аминокислотными остатками, особенно аргинином и лизином. Так как молекула ДНК обладает кислотными свойствами (т. е. заряжена отрицательно), а положительно и отрицательно заряженные соединения взаимно притягиваются, мы постулировали, что этот осно́вный участок Arg/Lys соответствует той части белковой молекулы, которая непосредственно контактирует с ДНК. В таком случае возможно, что благодаря со-

БЛАГОДАРЯ ГЕТЕРОДИМЕРАМ ВОЗРАСТАЕТ РАЗНООБРАЗИЕ МОТИВОВ ДНК, УЧАСТВУЮЩИХ В РЕГУЛЯЦИИ ГЕНОВ



БЛАГОДАРЯ ГЕТЕРОДИМЕРАМ ВОЗРАСТАЕТ РАЗНООБРАЗИЕ КОМБИНАЦИЙ БЕЛКОВ, УЧАСТВУЮЩИХ В РЕГУЛЯЦИИ ГЕНОВ



ГЕТЕРОДИМЕРЫ связанных «молниями» неидентичных белковых молекул могут давать организму двоякое преимущество. Во-первых (*слева*), гомодимеры (т. е. пары идентичных белковых молекул) узнают только двусторонне-симметричные мотивы (*a* и *b*), а гетеродимеры способны узнавать ассиметричные мотивы (*c*), что увеличивает количество мотивов, участвующих в регуляции генов. Во-вторых (*справа*), активирующие домены в гомодимерах связываются всегда с идентичными белками (*a* и *b*), тогда как в гетеродимерах они связываются с различными белками (*c*), а значит, большее число белковых комплексов может участвовать во «включении» и «выключении» генов.

единению двух молекул застежкой-«молнией» достигается правильное взаимное расположение участков Arg/Lys, обеспечивая тем самым связывание с двусторонне-симметричными мотивами ДНК.

Исследования показали, что участок Arg/Lys действительно является местом связывания белка с ДНК. Например, было установлено, что мутации в этом участке уменьшают эффективность связывания димеров с ДНК. Изучение структуры участка связывания также подтвердило предположение о том, что соединение застежкой-«молнией» правильно ориентирует участок Arg/Lys для контакта с ДНК.

Наши представления о связывании белков, обладающих лейциновыми «молниями», с ДНК сложились на основании подробного сравнения 11 регуляторных белков, содержащих расположенные по соседству лейциновую «молнию» и участок Arg/Lys. В их числе были белки как растений, так и млекопитающих (эти две группы организмов дивергировали более миллиарда лет назад), а также грибов.

Как следовало из сравнительного анализа этих белков, все они устроены таким образом, что их димер имеет форму буквы Y; участки, соединенные по типу застежки-«молнии», формируют ее «ножку», а участки Arg/Lys — «плечи», которые связываются с ДНК.

Мы пришли к выводу, что α-спираль участка «молнии» должна быть как бы продолжением участка, связывающегося с ДНК, поскольку у всех 11 белков сегменты Arg/Lys не содержали остатков глицина и пролина, которые нарушают ход спирали. Кроме того, в каждом белке между участком «молнии» и участком, связывающим ДНК, располагаются всегда шесть аминокислотных остатков. Если этот соединительный сегмент тоже имеет структуру спирали, то любая консервативная аминокислота из участка Arg/Lys должна располагаться во всех рассматриваемых белках с одной и той же стороны спирали — по-видимому, с той, которая контактирует с ДНК.

Предполагалось также, что каждое из спиральных плеч Y-образной молекулы должно взаимодействовать с половиной двусторонне-симметричного участка связывания в ДНК. Спираль двухцепочечной ДНК наподобие винта имеет бороздки — «большую» (широкую) и «малую» (узкую). Мы ожидали, что одно плечо входит в большую бороздку на ближайшей поверхности молекулы ДНК, контактируя с половиной мотива, а другое плечо входит в большую бороздку с противоположной стороны спирали ДНК и контактирует со второй половиной мотива.

Для проверки этих представлений Ч. Винсон, работавший в моей лаборатории, построил модель двух соединенных идентичных молекул C/EBP. На модели была хорошо видна застежка-«молния» между молекулами, а весь димер с легкостью принимал форму буквы Y.

В модели Винсона консервативные остатки аргинина и лизина располагались на внутренней поверхности каждого из плеч. Такая организация согласовалась с нашей гипотезой: расположение этих остатков было удобным для образования ионных связей с отрицательно заряженным сахарофосфатным остовом молекулы ДНК. Такие связи должны прочно удерживать белок на ДНК.

Но модель обнаружила и недостаток вышеописанной гипотетической картины. Оказалось, что если участок Arg/Lys представляет собой непрерывную спираль, то он слишком длинный, чтобы контактировать с ДНК целиком, и вершина каждого плеча Y-образной молекулы будет торчать в сторону от ДНК, а не охватывать ее. Такая организация маловероятна, потому что остатки аргинина и лизина в сегментах, которые должны были бы выступать, отличаются высокой степенью консервативности и, значит, почти наверняка участвуют в связывании с ДНК. Более того, мы установили, что замены этих аминокислот другими нарушают связывание.

Приходилось допустить, что регулярность спиральной структуры участка Arg/Lys в каком-то месте нарушена, что позволяет спирали изогнуться. Вновь рассмотрев структуру 11 белков, мы обратили внимание на то, что хотя в участке Arg/Lys отсутствуют остатки глицина или пролина, которые, как известно, нарушают α-спираль, но зато в одном и том же положении имеется остаток аспарагина, который тоже может искажать ход спирали.

При содействии П. Сиглера и его коллег из Йельского университета мы усовершенствовали молекулярные модели, учтя изгиб α-спирали на инвариантном остатке аспарагина. Теперь весь участок Arg/Lys, включая и ранее помещавшуюся часть, укладывался в большой бороздке ДНК. Связывание этих участков белкового димера с ДНК напоминает применяемый в спортивной борьбе захват «ножницами», при котором борец смыкает ноги вокруг торса противника.

Установив, что многие белки соединяются в димеры по типу застежки-«молнии», мои коллеги и я начали строить предположения, почему в молекулах многочисленных регуляторных белков структуры, обеспечивающие такое соединение, закрепились в ходе эволюции. По нашему мнению, главное преимущество такой организации вполне может заключаться в образовании гетеродимеров из неидентичных белков.

Чтобы прояснить логичность этой точки зрения, я модернизирую модель регуляции генов, которая обсуждалась выше. Вспомним, что для активации гена с каждым мотивом его промотора и энхансера должен связаться соответствующий регуляторный белок. Однако одного этого, судя по всему, недостаточно. Белок, связывающийся с ДНК, должен по структуре точно соответствовать другим белкам, связавшимся по соседству.

С каждым мотивом могут связываться, по-видимому, несколько различных белков, так что теоретически всякий промотор или энхансер способен взаимодействовать с несколькими разными комбинациями белковых молекул. Но, как считают сейчас многие исследователи, лишь одна из этих комбинаций действительно активирует данный ген.

Другими словами, только одна комбинация регуляторных белков обладает такой формой, что влияет на транскрипцию. В отсутствие хотя бы одного из компонентов этой системы, которая напоминает мозаику-головоломку, невозможна активация соответствующего гена. Таким образом, если в клетке нет всего лишь одной из субъединиц ключевого димера или белка, специфически взаимодействующего с этой субъединицей, ген останется бездействующим.

Согласно такому представлению, набор мотивов в энхансере или промоторе образует как бы алгоритм головоломки, а кусочками мозаики служат белки, регулирующие деятельность данного гена. Конкретно каким образом правильно сложенная мозаика способствует транскрипции, не ясно, и этот вопрос является предметом интенсивных исследований (см. статью: М. Пташне. Как действуют активаторы генов?, «В мире науки», 1989, № 3).

В рамках этой концепции регуляторные белки, образующие гетеродимеры, могут давать организму двоякое преимущество. Во-первых, поскольку участки Arg/Lys гетеродимеров могут узнавать две различные нуклеотидные последовательности в одном мотиве ДНК, спектр регуля-

торных мотивов ДНК организма расширяется, включая в себя асимметричные двойные мотивы, которые в отличие от двусторонне-симметричных состоят из неодинаковых частей (см. рисунок на с. 28, *слева*).

Однако разнообразие регуляторных последовательностей увеличится благодаря гетеродимерам лишь в том случае, если гомодимеры связываются только с двусторонне-симметричными мотивами. А согласно полученным мною с коллегами предварительным данным, гомодимеры связываются с асимметричными мотивами так же, как гетеродимеры. Возможно, методы, которыми мы пользовались для изучения связывания белков с ДНК, недостаточно чувствительны и плохо отражают условия, имеющиеся в клетке. Тем не менее если эти наши результаты подтвердятся, значит, преимущество гетеродимеров состоит в чем-то другом.

Во-вторых, благодаря гетеродимерам при одном и том же числе различных регуляторных белков возможно больше вариантов образующейся из них мозаики. Чтобы разъяснить это, следует рассмотреть еще один функциональный домен регуляторных белков.

Как впервые показали Пташне и Э. Хочшилд из Гарвардского университета, активация генов может осуществляться фрагментами регуляторных белков, не имеющими ничего общего с участками, ответственными за связывание этих белков с ДНК. Изучая белок cI вируса бактерий, известного под названием бактериофага λ, они обнаружили, что тот участок белковой молекулы, который необходим для активации гена, не нужен для связывания с ДНК. Они предположили, что этот активирующий домен белка cI каким-то образом взаимодействует с РНК-полимеразой.

Белки с лейциновыми «молниями», в том числе C/EBP, Jun, Fos и GCN4, также имеют функциональные домены, которые отличаются от участков, образующих «молнии» или связывающихся с ДНК. По аналогии их тоже можно назвать активирующими доменами. Биохимическая роль этих доменов пока еще не выяснена, но они вполне могут служить участками контакта с другими белками. Даже внутри семейства белков, способных образовывать друг с другом гетеродимеры, такие участки должны различаться. Поэтому две разновидности белка C/EBP, соединяющиеся по типу застежки-«молнии», будут иметь каждая свой активирующий домен, как и белки Jun и Fos, которые, как уже говорилось, формируют гетеродимер.

Благодаря гетеродимерам белков с лейциновыми «молниями» круг возможных мозаик расширяется потому, что активирующие домены различных субъединиц димеров связываются каждый со своим белком. При наличии одних только гомодимеров связывающиеся с ДНК димеры взаимодействовали бы всегда только с идентичными белками (см. рисунок на с. 28, *справа*).

Потенциальная важность гетеродимеров подтверждается также тем фактом, что взаимодействие разных белковых молекул характерно, по всей видимости, для многих классов регуляторных белков, а не только для белков с лейциновыми «молниями». Так, Г. Вайнтрауб из Онкологического центра Фреда Хатчинсона в Сиэтле и Д. Балтимор, который сейчас работает в Рокфеллеровском университете, обнаружили комплексы из различных белковых молекул (механизм их образования отличается от лейциновой «молнии») в совершенно другом классе белков — регуляторов активности генов, характеризующихся структурой типа «спираль—петля—спираль». Вайнтрауб и его коллега Э. Лассер показали, что один из этих белков, MyoD, играет центральную роль в специализации мышечных клеток.

Хотя в этой статье основное внимание уделено белкам с лейциновыми «молниями», я должен подчеркнуть, что регуляция генов и специализация клеток обеспечиваются многими различными классами регуляторных белков. Например, Дж. Дарнелл-младший и его коллеги из Рокфеллеровского университета установили, что специализация дифференцированных гепатоцитов обусловлена действием ряда регуляторных белков, принадлежащих к разным классам.

Чтобы лучше понять механизм специализации клеток, следует теперь сосредоточить внимание на том, каким образом регуляторные белки разных классов взаимодействуют друг с другом при связывании с ДНК. Открытие лейциновых «молний» лишь частично решает проблему. И хотя до полной ясности здесь еще далеко, плодотворные пути исследований очевидны.

Наука и общество

Изучая старение

Нормальные клетки не вечны, но некоторые сохраняют способность делиться дольше других, что, по-видимому, контролируется каким-то предопределенным «счетным механизмом». Так, например, у клеток лошади и человека срок, в течение которого происходят клеточные деления, продолжительнее, чем у клеток мыши. Клетки молодых индивидов делятся чаще, чем старых, как будто знают, что им отведено больше времени. Способность к делению снижается с увеличением возраста клеток.

Согласно одной довольно распространенной точке зрения, старение клеток является суммарным результатом малых случайных изменений и распад провоцируется потоком «непреднамеренных» нарушений. Другое мнение состоит в том, что старение нормальных клеток управляется специфическими генами. «Если клетки стареют вследствие повреждений, то бессмертные клетки должны обладать чем-то, что позволяет им избежать повреждений», — говорит генетик О. Перейра-Смит из Геронтологического центра Хаффингтона при Медицинском колледже Бэйлора в Хьюстоне.

Перейра-Смит и ее коллега Й. Нинг стали исследовать неограниченно делящиеся клетки с целью найти ген, индуцирующий старение и тем самым останавливающий пролиферацию. Результаты их работы, которые будут опубликованы в журнале "Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A.", указывают на то, что у человека один из генов, участвующих в процессе старения, локализован в хромосоме 4.

Вначале эти исследователи провели слияние нормальных клеток с бессмертными, ставшими таковыми в результате злокачественной трансформации или же вирусной инфекции. В потомстве гибридных клеток проверили способность к неограниченной пролиферации. Большинство этих клеток не обладали таким свойством. Тенденция к нормализации, включая ограничение продолжительности жизни, по-видимому, является наследуемым доминантным признаком независимо от происхождения клетки — будь-то клетка кожи, мышц, вен или крови. Перейра-Смит сделала вывод, что те немногие гибридные клетки, которые оказались бессмертными, обладают неким рецессивным геном, определяющим этот признак.

Далее исследователи провели ги-

бридизацию бессмертных клеток с другими бессмертными клетками, полагая, что любая рецессивная мутация, обеспечивающая долгожительство родительских клеток, должна передаться гибридным клеткам. Если обе родительские клетки обладают одной и той же мутацией, то клетки, получающиеся в результате их гибридизации, также должны быть бессмертными. Если же долгожительство у одной из родительских клеток обусловлено какой-то иной причиной, то способность к неограниченному делению у гибридов не появится. Тогда линии родительских клеток можно разделить на группы в отношении способности к неограниченному делению по признакам, которые передаются гибридам.

Проведя слияние клеток 30 линий из различных тканей во всех возможных комбинациях, Перейра-Смит и ее сотрудники установили, что каждая гибридная бессмертная клетка попадает только в одну из выявившихся четырех возможных групп. По мнению Перейра-Смит, это ограниченное распределение говорит о том, что в процессе старения участвует небольшое число специфических генов. «Старение начинается, когда приходит в действие ряд определенных генов, а для бессмертия достаточно, чтобы был утрачен любой из этих генов», — заявила она.

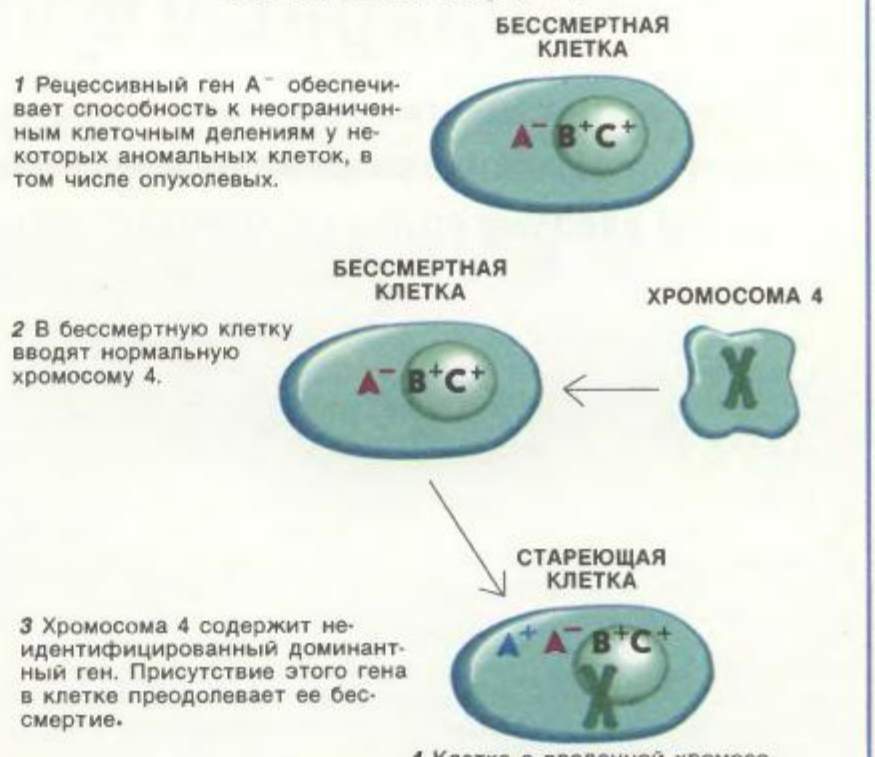
Твердо установив, от каких клеток можно ожидать неограниченных делений, Перейра-Смит задалась целью выяснить, можно ли останавливать пролиферацию этих клеток. «Мы решили попытаться выявить хромосомы, причастные к подавлению развития опухолей», — отметила она, объясняя, что процессы, связанные со старением, могут быть вовлечены в подавление опухолевого роста, поскольку они предотвращают бесконтрольный клеточный рост. Представлялось возможным, что в какой-то из этих хромосом имеется ген, способный прекращать деления клетки.

В бессмертные клетки вводили одиночные нормальные хромосомы человека. Для этого человеческие клетки обрабатывали таким образом, что ядерная оболочка разделялась на небольшие замкнутые фрагменты и внутри каждого фрагмента оказывались одна или две хромосомы. Такие «микроядра» отделяли от клеточной цитоплазмы и использовали для слияния с ядрами других клеток.

Первые попытки дали разочаровывающие результаты. Когда в бессмертные клетки ввели хромосому 11, которая участвует в подавлении опухолевого роста, они продолжали размножаться как ни в чем не бывало. По наблюдениям Перейры-Смит, эта хромосома могла останавливать развитие опухоли, но, по-видимому, не участвовала в процессах старения. Эксперимент повторили с хромосомой 4 и на сей раз повезло: эта хромосома оказалась способной индуцировать старение клеток линии, полученной из карциномы шейки матки (но не клеток других групп). В лаборатории Перейры-Смит исследуются другие клеточные линии данной группы с целью воспроизвести эффект.

На следующем этапе исследований предполагается определить хромосомную локализацию искомого гена и выяснить механизм его регуляции. Однако поиски гена — задача далеко не простая. Примером тому служит история изучения генетических основ болезни Хантингтона. Уже более 10 лет известно, что ген, обусловливающий это наследственное заболевание, расположен в хромосоме 4, но до сих пор не удалось установить его точную локализацию. Тем не менее, по уверениям генетиков, технология исследований улучшается с каждым днем. Когда «ген старения» будет идентифицирован, станет возможным изучать его участие в старении различных нормальных клеток. «Может быть, тогда мы сумеем останавливать старение не только в лаборатории, но и у живых людей», — мечтает Перейра-Смит.

Поиск «гена старения»



НАПОМИНАЕМ АДРЕСА МАГАЗИНОВ — ОПОРНЫХ ПУНКТОВ ИЗДАТЕЛЬСТВА «МИР»

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

232000 Вильнюс, просп. Ленина, 29, магазин «Техника»

375019 Ереван, ул. Барекамутян, 24-а, магазин № 29

370105 Баку, ул. Кецховели, 556/557, квартал № 17, магазин № 28

603006 Горький, ул. Горького, 156, магазин № 29 «Наука»

250001 Киев, ул. Крещатик, 44, магазин № 12

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»

Бесстолкновительные ударные волны

К удивлению многих теоретиков, ударные волны возникают даже в чрезвычайно разреженном межпланетном пространстве. Эти ударные волны определяют специфику процессов в космическом пространстве и лежат в основе разнообразных астрофизических явлений

РОАЛЬД З. САГДЕЕВ, ЧАРЛЗ Ф. КЕННЕЛ

УДАРНЫЕ волны наполняют Солнечную систему как реверберирующий гул сверхзвукового самолета, когда возмущения вызываются аэродинамической ударной волной, т. е. резким изменением параметров газа, распространяющимся быстрее звука. Уже давно ученые пришли к пониманию, что в нейтральном газе, например в атмосфере Земли, для формирования ударной волны частицы газа должны сталкиваться друг с другом. В начале 50-х годов мы с нашими коллегами теоретически показали, что вопреки ожиданиям многих ученых подобные ударные волны могут формироваться даже в состоянии полного вакуума в космосе, где столкновения частиц чрезвычайно редки. Если это так, то ударные волны могут играть важную роль в формировании структуры космического пространства.

«Бесстолкновительные» ударные волны не могут возникать естественным образом на Земле, поскольку почти все вещество здесь состоит из электрически нейтральных атомов и молекул. В космическом пространстве, однако, высокие температуры и ультрафиолетовые излучения горячих звезд разрушают атомы на составляющие их ядра и электроны и образуется «бульон», состоящий из электрически заряженных частиц, известный как плазма. Физики, занимающиеся плазмой, предположили, что коллективные электрические и магнитные свойства плазмы могут вызывать взаимодействия, которые играют роль столкновений и позволяют сформироваться ударной волне.

В 1964 г. эта теоретическая работа получила первое экспериментальное подтверждение. Н. Несс и его коллеги из Годдардского центра космических полетов, используя данные с космического аппарата IMP-1, обнаружили явные признаки существования ударной волны в области контакта солнечного ветра с магнитным полем Земли. (Солнечный ветер — это непрерывный поток заряженных частиц, распространяющийся от Солнца.) Проведенные позднее исследования показали, что удивительное множество бесстолкновительных ударных волн возникает и в астрофизических явлениях. Например, ударные волны обнаружены в солнечном ветре вверх по потоку (т. е. в сторону Солнца) вблизи всех планет и комет, которые изучались с помощью космических аппаратов. Мощные солнечные вспышки возбуждают ударные волны, которые распространяются до самых дальних уголков Солнечной системы; могучие галактические вспышки создают разрывы в межгалактической среде, в триллионы раз более протяженные. Кроме того, многие астрофизики считают, что ударные волны от вспышек сверхновых в нашей Галактике ускоряют космические лучи (поток чрезвычайно энергичных элементарных частиц и атомных ядер), которые со всех сторон падают на Землю.

ИЗУЧЕНИЕ плазмы началось в XIX в., когда Майкл Фарадей исследовал электрические разряды в газах. Начало современных плазменных исследований датируется 1957—1958 гг. В эти годы с помощью советских и американских искусственных спутников было установлено, что космическое пространство вблизи Земли заполнено плазмой. В то же время данные прежде закрытых исследований в области управляемого термоядерного синтеза, проводимых в США, СССР и Западной Европе, были представлены участникам Женевской конференции по мирному использованию атомной энергии, что существенно увеличило объем доступной информации по физике плазмы.

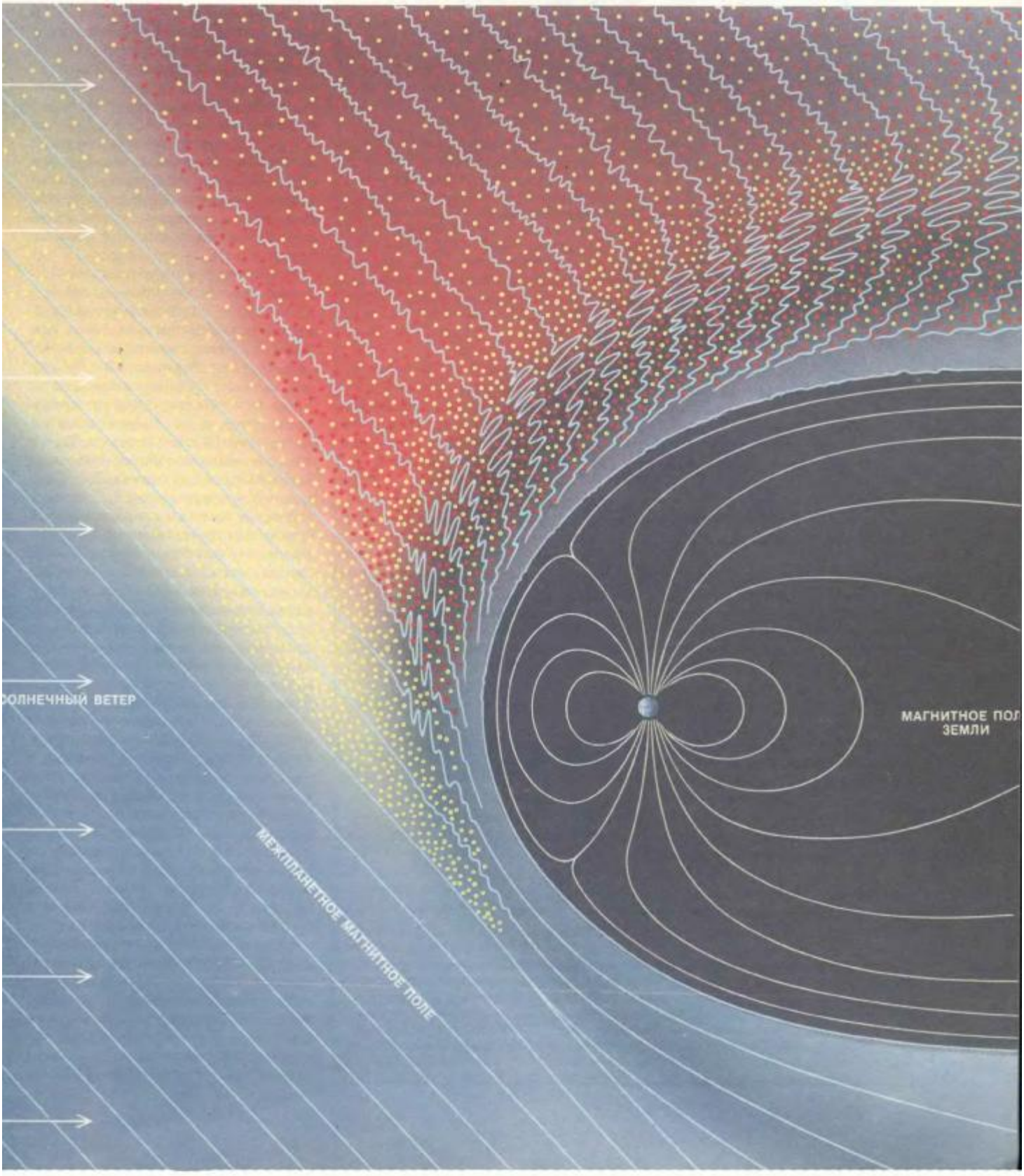
Исследования в области термоядерного синтеза направлены на получение очень горячей плазмы и удержание ее в магнитных ловушках для создания условий, необходимых для протекания ядерных реакций с выделением энергии. В 1957 г. в процессе исследования методов нагрева термоядерной плазмы один из нас (Сагдеев) пришел к выводу, что внезапное сжатие магнитного поля может распространяться в плазме почти так же, как и ударная волна в сплошной среде.

Магнитные поля, пронизывающие плазму, придают ей свойства, очень похожие на свойства обычной сплошной среды. Магнитное поле действует на движущуюся заряженную частицу (сила Лоренца). Поле можно представить в виде семейства магнитных силовых линий, пронизывающих плазму, как и силовые линии поля вблизи обычного магнита, направление которых можно увидеть с помощью железных опилок. Сила Лоренца всегда действует в направлении, перпендикулярном как направлению магнитного поля, так и направлению движения частицы. Если частица движется поперек поля, то эта сила действует как резинка, удерживающая ее и заставляющая двигаться по небольшим

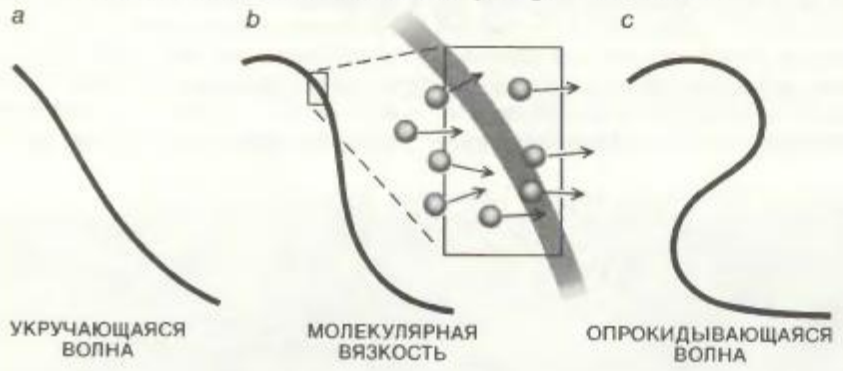
БЕССТОЛКНОВИТЕЛЬНАЯ ударная волна формируется при контакте солнечного ветра — потока заряженных частиц, распространяющегося от Солнца, — с магнитным полем Земли. Связанные с ней явления зависят от направления межпланетного магнитного поля перед ударной волной. Энергичные электроны (*желтые*) и ионы (*красные*) выходят в область перед фронтом в квазипараллельной зоне (*верхние области*). Эти частицы создают микроскопические волны в солнечном ветре и изгибные магнитные возмущения, известные как альфвеновские волны (*волнистые линии*). Ударная волна узкая там, где она квазиперпендикулярна (*нижние области*).

окружностям вокруг магнитной силовой линии. Однако при этом частица может свободно перемещаться вдоль магнитного поля. Сочетание свободного движения в направлении магнитного поля и ограниченного вращения поперек поля придает траектории частицы форму спирали, «навивающейся» на магнитную силовую линию.

Сила Лоренца препятствует «разлету» плазмы в направлении, перпендикулярном магнитному полю. Максимальное расстояние, на которое частицы могут удаляться от магнитной силовой линии, называемое ларморовым радиусом, обратно пропорционально величине поля. В слабом межпланетном магнитном поле ларморов радиус составляет около нескольких километров для электронов и нескольких сотен километров для более массивных ионов. Эти расстояния могут показаться большими, но они ничтожно малы по сравнению с размерами области взаимодействия солнечного ветра и магнитного поля Земли. Возникающая ударная волна, называ-

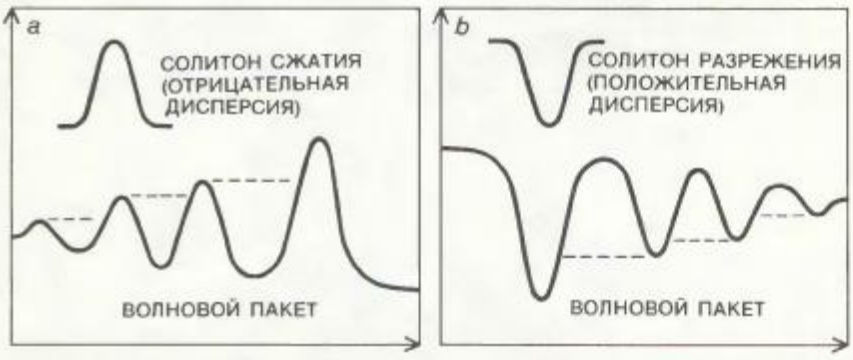


Как формируется бесстолкновительная ударная волна



Волны укручаются, поскольку часть волны с бóльшей амплитудой движется быстрее. С течением времени волна (*a*) становится более крутой и резкой. В звуковой волне столкновения отдельных молекул газа (молекулярная вязкость) передают импульс вперед (*b*) и не дают волне обгонять более медленно движущееся перед волной вещество. В сильной бесстолкновительной ударной волне этот процесс может приводить к опрокидыванию волны (*c*).

Дисперсия волны определяет, как ее скорость зависит от длины волны. Этот эффект становится существенным в бесстолкновительной ударной волне в плазме (газе из электронов и заряженных ядер). На рисунке показано, что скорость волны может возрастать (положительная дисперсия) или уменьшаться (отрицательная дисперсия) с увеличением длины волны. Дисперсия стремится размыть четкий фронт волны на длинную серию составляющих его гармонических волн.



Уединенные волны, или солитоны, образуются в результате конкуренции процессов укручения и дисперсии. В зависимости от знака дисперсии солитоны могут представлять собой области сжатия (*a*) или разрежения (*b*). Упорядоченная последовательность солитонов, называемая пакетом солитонов («волновым поездом»), определяет толщину фронта ударной волны. Длина волнового пакета зависит от механизма затухания, который вызывает уменьшение энергии солитона и превращение ее в конечном итоге в тепло.

емая головной ударной волной, имеет такую же параболическую форму, как возмущения воды перед скоростным катером. Ее поперечные размеры превышают 100 000 км. Когда характерный масштаб оказывается больше ларморова радиуса ионов, коллективные движения частиц плазмы поперек магнитного поля увлекают за собой магнитные силовые линии. Таким образом, магнитное поле оказывается «вмороженным» в плазму.

Магнитное поле наделяет бесстолкновительную плазму упругими свойствами, аналогичными свойствам плотного газа, так что плазменная волна, распространяющаяся поперек магнитного поля, ведет себя в некоторых отношениях как обычная звуковая волна. Поэтому теоретический анализ бесстолкновительных ударных волн начинался с простого следования идеям, развитым в предшествовавших исследованиях аэродинамических ударных волн.

Предположим, например, что внезапное сжатие вызвало звуковую волну в воздухе. По мере распространения волны ее профиль (профиль давления и плотности газа) изменяется. Поскольку наиболее плотная область волны движется быстрее всего, волна усиливается и ее передний фронт становится все круче. Выдающийся немецкий математик Бернхард Риман показал, как это явление, названное укручением волны, приводит к образованию ударной волны.

В конце концов быстрый плотный газ нагоняет более медленный газ, находящийся перед ним. В этот момент звуковая волна ведет себя как морская волна, набегающая на берег. Морская волна укручается, опрокидывается и разрушается в пену. Звуковая волна приходит к похожему, но несколько иному финалу. В тот момент, когда волна усилилась настолько, что стала близка к опрокидыванию, отдельные молекулы газа начинают играть важную роль в процессах передачи импульса между соседними точками в газе: молекулы из наиболее быстрой и плотной области волны забегают в область перед укручающимся волновым фронтом, сталкиваясь с молекулами в более медленной области перед волной и обмениваясь импульсом с этими молекулами. Таким образом, медленные молекулы приобретают скорость движущейся волны.

Такой обмен импульсом вызван молекулярной вязкостью. В этом процессе момент количества движения «переваливает» через гребень волны и передается в невозмущенную область перед волной так же, как эстафетная палочка передается от одного участника забега к другому. Молекулярная

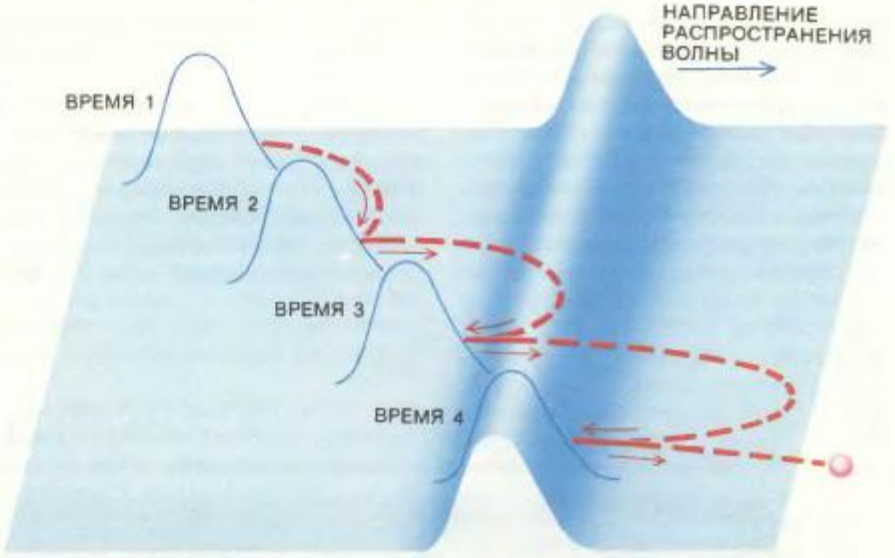
вязкость оказывает сильный эффект, когда толщина фронта волны становится порядка среднего расстояния, которое может пролететь частица газа между столкновениями с другими частицами; это расстояние известно как средняя длина пробега частицы. (Средняя длина пробега молекулы в воздухе близка к 0,0001 см.) При этой толщине фронта укручение и вязкость компенсируют друг друга и формируется стационарная ударная волна. Результирующая ударная волна представляет собой скачок (в виде ступеньки) скорости, плотности и давления газа.

До того как физики разработали механизм, который мог бы заменить молекулярную вязкость в плазме, не имело большого смысла говорить о бесстолкновительных ударных волнах. Именно поэтому этот вопрос был забыт на многие годы. Затем, в конце 50-х годов, один из нас (Сагдеев) и независимо А. Кантровиц и Г. Петчек, в то время работавшие в Исследовательской лаборатории фирмы Avco-Everett близ Бостона, предположили, что похожая передача момента возможна и в разреженной плазме. Они показали теоретически, что в плазме скорее волны, чем отдельные частицы, передают такую «эстафету».

Плазменная эстафета основана на том факте, что скорость плазменных волн изменяется с длиной волны; это явление известно как дисперсия. В самом деле, если в обычном газе скорость звука практически не зависит от длины волны, в бесстолкновительной плазме волна имеет сильную дисперсию. Это означает, что ее скорость может как увеличиваться, так и уменьшаться по мере уменьшения длины волны в зависимости от угла между направлением распространения волны и направлением магнитного поля.

Согласно теореме Фурье, фундаментальной теореме математики, любой волновой профиль можно представить в виде суперпозиции волн, или гармоник, с различными длинами волн. (Например, белый свет, прошедший сквозь призму, раскладывается на составляющие цвета, каждый из которых имеет определенную длину волны.) Если профиль волны укручается, он возбуждает гармоники со все более короткими длинами волн.

Для волн, распространяющихся не точно поперек магнитного поля, дисперсия приводит к тому, что более коротковолновые гармоники распространяются быстрее длинноволновых. Влияние дисперсии становится важным, когда толщина укручающегося волнового фронта приближается к ларморову радиусу ионов. В этот момент коротковолновые гармоники обгоняют фронт и забегают в область невозмущенной плазмы вверх по потоку. Эти диспергирующие плазменные волны переносят момент так же, как быстрые молекулы в звуковой волне.



ЗАТУХАНИЕ ВОЛНЫ происходит, когда энергия передается от солитонов к отдельным заряженным частицам (электронам или ионам) в плазме. Частицы, двигающиеся со скоростью, близкой к скорости волны, сильно взаимодействуют с солитонами. Электрическое поле солитонов заставляет эти резонансные частицы остановиться и повернуть назад; при этом энергия солитонов передается частицам. Возвращающая магнитная сила (сила Лоренца) искривляет траектории частиц, возвращая их снова и снова к тому же солитону. Каждый возврат увеличивает энергию частицы за счет энергии солитона.

Конкуренция процессов укручения и дисперсии приводит к возникновению серии пульсаций, распространяющихся в направлении движения ударной волны. В результате фронт ударной волны приобретает вид пакета импульсов («волнового поезда»). Волны малой амплитуды (самые слабые) возвещают о скором прибытии пакета, и последовательно возникают все более сильные колебания вплоть до прибытия непосредственно ударного перехода. Длина пакета (другими словами, полная ширина ударного фронта) зависит от того, как быстро диссипирует энергия волн.

Для волн, распространяющихся точно поперек магнитного поля, дисперсия приводит к тому, что скорость гармоник уменьшается с уменьшением длины волны. Коротковолновые гармоники в этом случае движутся позади фронта ударной волны и, таким образом, не могут оказывать влияния на укручение всей волны. В этом случае ударная волна передает эстафету момента через серию импульсов сжатия — солитоны.

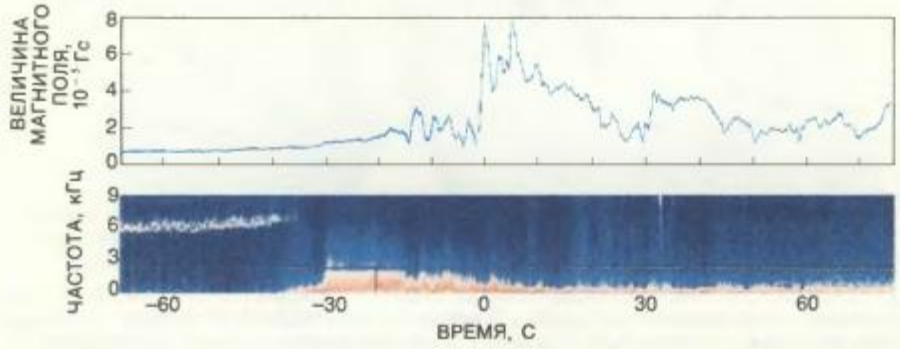
Солитоны в перпендикулярных ударных волнах имеют размеры, близкие к ларморову радиусу электронов, и образуются, когда укручение волны достигает этого размера. Укручающийся фронт генерирует последовательность солитонов — впереди самый сильный (большой амплитуды), за которым следуют все более слабые, переходящие в конце концов в гладкое состояние за фронтом ударной волны. Длина пакета солитонов зависит от того, насколько быстро их энергия диссипирует в тепло.

Волны на поверхности мелкого водоема ведут себя очень похоже на диспергирующие волны в бесстолкновительной плазме. Теория волн на мелкой воде была развита в XIX в., особенно в классической работе Д. Кортевега и Дж. де'Вриза, впервые описавших солитоны, распространение которых иногда можно было наблюдать на каналах в Голландии. Неочевидная аналогия между солитонами на мелкой воде и плазменными солитонами отражает общую физическую истину: солитоны образуются в любой среде, в которой проявляются конкуренция укручения волны и ее дисперсия.

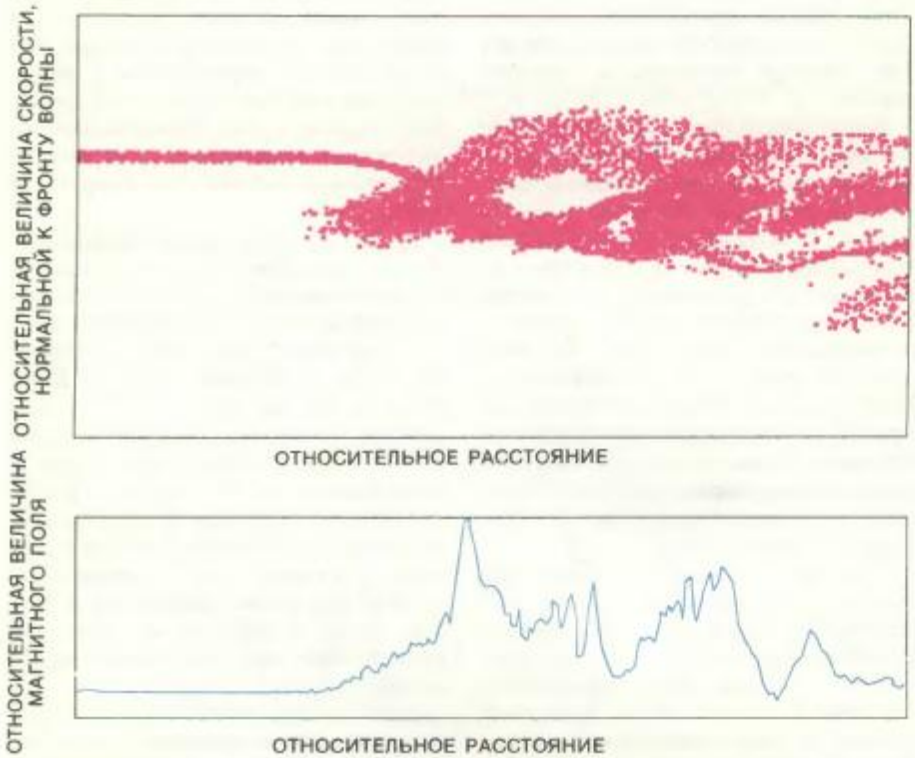
Одно из следствий этого заключается в том, что солитоны образуются и в ударных волнах, которые распространяются не точно перпендикулярно магнитному полю. Эти солитоны отличаются от описанных выше тем, что они являются скорее солитонами разрежения (низкой плотности), чем солитонами сжатия. В этом случае коротковолновые гармоники распространяются медленнее (положитель-

ная дисперсия), и чем больше амплитуда солитона разрежения, тем медленнее он распространяется. В результате пакет солитонов завершается самым сильным солитоном. Поверхностное натяжение на воде приводит к образованию мелких волн, которые имеют положительную дисперсию, и солитонов разрежения. Таким образом, физика волн на воде дает аналогию обоих типов дисперсии, обнаруженных в бесстолкновительной плазме.

Эта элегантная теория солитонов является впечатляющим достижением современной математической физики. В 1967 г. М. Крускал и его коллеги из Принстонского университета доказали, что волна с любым профилем в диспергирующей среде, которая поддерживает укручение волны, в конце концов распадается на набор солитонов. Из связи теории солитонов с проблемой столкновений элементарных частиц, которая исследовалась в квантовой физике начиная с 20-х годов, они показали, что солитоны, подобно частицам, сохраняют свои свойства в столкновениях между собой.



КОЛЕБАНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ (*вверху*), зарегистрированные космическим аппаратом «Вояджер-1» при пересечении бесстолкновительной ударной волны в солнечном ветре перед Юпитером. Солнечный ветер движется слева направо. Магнитные возмущения перед фронтом ударной волны вызваны ионами, отраженными от фронта назад в солнечный ветер. Измерения микроскопических плазменных волн (*внизу*) показали, что эти отраженные ионы генерируют низкочастотные ионно-звуковые волны. Электроны, нагретые ионными волнами, выходят в область перед фронтом ударной волны и генерируют высокочастотные электронные колебания.



КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ позволяет определить поведение ионов на юпитерианской ударной волне (*вверху*). Каждая точка представляет частицу, занимающую определенное положение и имеющую определенную скорость в данный момент времени в укручающейся, разрушающейся и опрокидывающейся ударной волне. Потоки ионов «солнечного ветра» (*слева*) отражаются от фронта, в то время как за фронтом волны (*справа*) они движутся хаотически. Интенсивный пик и последующие осцилляции магнитного поля (*внизу*) похожи на поведение реальной ударной волны. Моделирование выполнили Д. Пападопоулос и П. Каргилл из Мэрилендского университета в Колледж-Парк.

ФИЗИКА дисперсионных солитонов останется незавершенной до тех пор, пока не будет обсужден механизм диссипации энергии солитонов в тепло. Если бы не было диссипации, то пакет волн, формирующих структуру ударной волны, был бы бесконечно длинным. Основной вопрос о том, как бесстолкновительные ударные волны переносят энергию и момент количества движения, возникает вновь, но в совершенно другом плане.

В 1945 г. выдающийся советский физик Л. Д. Ландау открыл механизм диссипации, в котором не требуется столкновений между частицами. Среди хаотически движущихся частиц плазмы небольшое их число движется со скоростью, совпадающей со скоростью плазменной волны. Про такие частицы физики говорят, что они находятся в резонансе с волной. Между волной и частицей, находящейся с ней в резонансе, может происходить интенсивный обмен энергией.

В начале 70-х годов один из нас (Сагдеев) и В. Д. Шапиро из Института космических исследований АН СССР в Москве, показали, что механизм Ландау приводит к затуханию солитонов и ускорению ионов. Рассмотрим, например, пакет солитонов сжатия, распространяющихся перпендикулярно магнитному полю. Каждый солитон генерирует электрическое поле в направлении своего движения. Ионы, движущиеся со скоростью, близкой к резонансной, двигаются медленно по сравнению с солитоном, и электрическое поле солитона может остановить и изменить направление движения этих ионов, т. е. в этом взаимодействии солитон передает часть своей энергии резонансному иону.

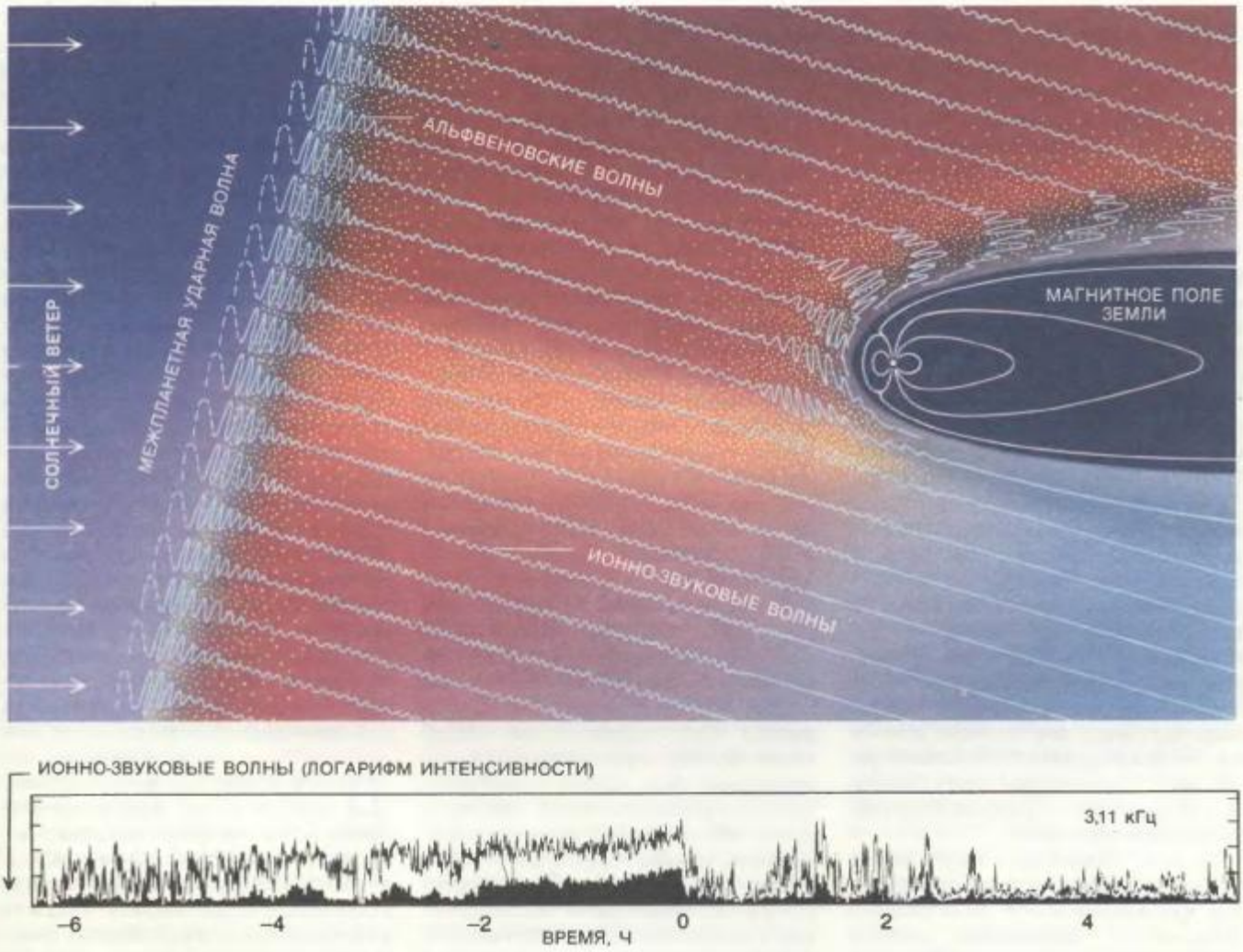
Процесс на этом не заканчивается, так как сила Лоренца искривляет траекторию отраженного иона, возвращая его снова и снова к тому же солитону. Каждое возвращение добавляет частице некоторую энергию. Сила Лоренца, которая растет с увеличением скорости частицы, наконец «перебрасывает» ее через вершину первого солитона. Ускорение продолжается, когда ион достигает следующего солитона в волновом пакете. Резонансный ион приобретает энергию

так же, как спортсмен на доске-«серфинге» набирает скорость на морской волне. Эта аналогия вдохновила Дж. Даусона из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе сконструировать новый тип ускорителя заряженных частиц, который он назвал «серфатроном».

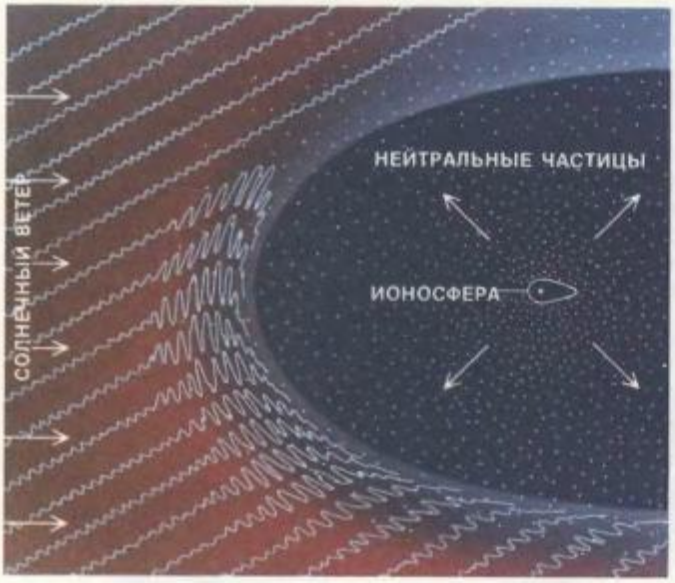
Нагрев ионов солитонами может приводить к формированию ударной волны, если только число резонансных ионов достаточно велико. Это действительно так, если ионы горячие. Если нет, то ударная волна находит другой способ диссипировать энергию: сами солитоны генерируют микроскопические плазменные волны, которые нагревают плазму. Электроны плазмы обгоняют ионы, создавая электрический ток, ответственный за характерный для солитона профиль изменения магнитного поля. Если ионы холодные, то электроны могут легко двигаться со сверхзвуковыми скоростями относительно ионов. В этом случае электроны усиливают мелкомасштабные электрические колебания, называемые ионно-звуковыми колебаниями. Такие волны не приводят к изменениям магнитного поля и нарастают лавинообразно. Частицы плазмы сталкиваются не друг с другом, а с этими ионно-звуковыми волнами. После нарастания колебаний плазма переходит в микротурбулентное состояние.

В 1968 г. Р. ФРЕДЕРИКС и его коллеги из фирмы TRW в Лос-Анджелесе впервые обнаружили звуковые колебания в ударных волнах. Это открытие было сделано с помощью приборов на борту космического аппарата OGO-5, который был специально сконструирован для изучения плазменных волн в космосе. С тех пор детекторы плазменных волн устанавливались на большинстве космических аппаратов, предназначенных для изучения плазмы в солнечной системе, включая спутники ISEE 1, 2 и 3 (International Sun-Earth Explorers) на земной орбите и аппараты «Вояджер-1» и «Вояджер-2» для исследования планет-гигантов. Ф. Скарф (ныне покойный) и его сотрудники часто воспроизводили электрические поля микротурбулентных волн, зарегистрированных на космических аппаратах ISEE и «Вояджер», через обычные громкоговорители. Для большинства слушателей ударные волны звучали какофонией, однако для нас — это симфония космоса.

Несмотря на то что микротурбулентность легко записать, ее оказалось непросто полностью объяснить. Теоретики обратились к вычислительным средствам (компьютерному



МЕЖПЛАНЕТНАЯ УДАРНАЯ ВОЛНА начинается с солнечной вспышки и распространяется на миллионы километров в солнечном ветре. Приборы на борту космического аппарата ISEE-3 зарегистрировали пересечение мощной межпланетной квазипараллельной ударной волны непосредственно перед тем, как она «налетела» на Землю. Картина земной головной ударной волны накладывается на похожую картину, соответствующую гораздо большей по размеру межпланетной волне (*вверху*). Микроскопические плазменные волны (*внизу*) наряду с магнитными альфвеновскими волнами и ускоренными частицами достигли спутника ISEE-3 на несколько часов раньше межпланетной ударной волны. Эта турбулентная область имела размеры около одного миллиона километров.



КОМЕТНЫЕ УДАРНЫЕ ВОЛНЫ возникают тогда, когда нейтральные молекулы и атомы с кометного ядра проникают в солнечный ветер прежде, чем они ионизуются ультрафиолетовым излучением. Добавление тяжелых кометных ионов замедляет поток солнечного ветра (вследствие сохранения импульса) и тем самым приводит к образованию ударной волны. Поскольку тяжелые ионы генерируют чрезвычайно интенсивные альфвеновские колебания, кометные ударные волны гораздо протяженнее, более турбулентны и эффективнее ускоряют частицы, чем планетные ударные волны (*слева*). Ударная волна гораздо больше кометного ядра и видимого хвоста кометы (*справа*).

моделированию), чтобы пролить свет на поведение сильнотурбулентной плазмы. Путем решения миллионов уравнений для движения отдельных частиц удалось показать, как ионно-звуковые колебания усиливаются и нагревают плазму. С помощью современных суперкомпьютеров ученые только начинают всесторонне изучать разнообразные виды микротурбулентности.

Однако, даже не зная детальной природы микротурбулентной плазмы, физики могут дедуктивным методом вывести ее общие свойства. Электроны в плазме передают свой момент движения ионно-звуковыми колебаниями, которые в свою очередь передают его ионам. Этот процесс тормозит движение электронов в плазме и таким образом создает сопротивление электрическому току. Для некоторых ударных волн сопротивление на ионно-звуковых колебаниях достигает достаточной величины, чтобы подавить возбуждение солитонов. В этом случае пакет солитонов не образуется и ударная волна называется резистивной.

Хотя в космическом пространстве обнаружены ударные волны обоих типов (дисперсионные и резистивные), большинство наблюдаемых ударных волн имеют характеристики, совершенно непохожие на обсуждавшиеся до сих пор. Они достаточно мощные, и ни дисперсия, ни сопротивление не могут остановить укручение и предотвратить опрокидывание волны. Опрокидывание вызывает массу новых явлений.

Обратимся вновь к волнам на мелкой воде, чтобы проиллюстрировать процесс опрокидывания. Когда прибрежная морская волна достаточно сильна, вершина волнового гребня, забегая вперед, описывает дугу и падает под действием силы тяжести. Поток воды, движущийся за гребнем, сталкивается с потоком, оказавшимся перед ним, приводя к образованию пенообразных «барашков». Таким образом, любая волна, накатывающаяся на берег, многократно опрокидывается или «разрушается».

В опрокидывающейся плазменной волне также образуются встречные потоки. Наиболее быстрый поток, идущий от гребня волны, вторгается в плазму перед фронтом ударной волны. Сила Лоренца поворачивает ионы этого потока назад к ударной волне. Эти отраженные ионы в конце концов смешиваются с ионами позади фронта. Если ударная волна слабая, то ее структура будет оставаться стационарной. Если ударная волна сильная, то отражение ионов на некоторое время может «перебороть» опрокидывание, однако ударная волна вскоре укручается вновь и весь цикл повторяется. Компьютерное моделирование, проведенное недавно К. Квестом и его коллегами из Лос-Аламосской национальной лаборатории, подтвердило предположение о том, что очень сильные ударные волны представляют собой повторяющиеся циклы укручения, опрокидывания и отражения ионов.

Взаимодействие отраженных ионов и ионов потока также может приводить к развитию микротурбулентности. Космический аппарат «Вояджер» обнаружил ионно-звуковые колебания, генерируемые ионами, отраженными от ударной волны Юпитера (см. рисунок на с. 36). В околоземном пространстве отраженные ионы возбуждают волны в солнечном ветре с частотой, равной геометрическому среднему частот вращения ионов и электронов в магнитном поле Земли; эту величину называют нижней гибридной частотой. В 1985 г. советско-чехословацкий спутник «Интершок» впервые обнаружил и измерил уровень нижнегибридной турбулентности на земной ударной волне. Вблизи обеих планет ионно-звуковые волны забирают энергию у ионов и передают электронам. Некоторая часть нагретых электронов убегает вперед в поток солнечного ветра, другая — возвращается в область ударной волны.

До сих пор мы рассматривали ударные волны, распространяющиеся более или менее поперек магнитного поля, — так называемые квазиперпендикулярные ударные волны. Плазменная турбулентность становится еще более существенной, когда ударная волна распространяется почти параллельно магнитному полю. Магнитное поле оказывается уже не в состоянии удержать быстрые частицы, стремящиеся обогнать такую квазипараллельную ударную волну. Эти частицы являются главным источни-

ком турбулентной неустойчивости.

Способность магнитного поля транспортировать частицы вдоль поля создает ситуацию, очень похожую на брошенный на землю садовый шланг. Любой изгиб шланга искривляется еще больше центробежной силой, действующей на струю воды.

Магнитное поле, направляющее перекрывающиеся плазменные потоки в область перед квазипараллельной ударной волной, испытывает аналогичную неустойчивость, которую часто так и называют — «шланговой» неустойчивостью. Центробежная сила, искривляющая силовые линии магнитного поля, пропорциональна плотности энергии движения плазмы вдоль магнитного поля. Неустойчивость возникает тогда, когда эта плотность энергии превышает плотность энергии магнитного поля. Многие физики независимо пришли к пониманию «шланговой» неустойчивости, однако вариант, предложенный в 1961 г. Ю. Паркером из Чикагского университета, предназначен специально для квазипараллельных ударных волн.

Плазменная шланговая неустойчивость приводит к стохастическому извиванию силовых линий магнитного поля. Такой тип магнитной турбулентности можно рассматривать как хаотический ансамбль волн «кручения», т. е. таких, которые изгибают силовые линии магнитного поля. Это хорошо известные альфвеновские волны, названные в честь Х. Альфвена из Королевского технологического института в Стокгольме, который первым дал их описание.

Альфвеновские волны, как и ионно-звуковые волны, могут обмениваться энергией и моментом движения с ионами, находящимися с ними в резонансе. Этот эффект обычно сопровождает шланговую неустойчивость. Что касается ионов, то их взаимодействие с альфвеновскими колебаниями играет роль столкновений. Таким образом, альфвеновские колебания ограничивают предельное расстояние, на которое вверх по течению могут проникать ионы, и определяют толщину фронта квазипараллельной ударной волны.

Теория предсказывает, что столкновения между ионами и альфвеновскими колебаниями должны быть почти упругими, т. е. в них происходит лишь незначительный обмен энергией, несмотря на большие изменения импульса (например, когда резиновый шар ударяется о твердую стенку, его импульс меняется на противоположный, но энергия при этом существенно не изменяется). В результате альфвеновская турбулентность во фронте ударной волны должна распадаться относительно медленно. Этот вывод позволил нам в 1967 г. сделать заключение о том, что квазипараллельные ударные волны могут быть значительно протяженнее квазиперпендикулярных.

Самые первые измерения на земной ударной волне, выполненные в 1964 г. с помощью космического аппарата IMP-1, дали некоторые указания на существенные различия между параллельными и перпендикулярными ударными волнами. Данные, полученные с борта IMP-1, были несколько неожиданными, поскольку иногда фронт ударной волны оказывается узким, а иногда — широким. Три года спустя мы предположили, что структура ударной волны может зависеть от ориентации межпланетного магнитного поля. В 1971 г. Е. Гринштадт и его коллеги из фирмы TRW получили первое доказательство того, что ширина фронта земной ударной волны действительно изменяется с изменением направления магнитного поля в солнечном ветре. Это поле постоянно меняет свое направление, поэтому области, где ударная волна локально-квазиперпендикулярна и где она квазипараллельна, всегда движутся, даже если сама ударная волна в целом остается достаточно стационарной. Везде, где ударная волна квазиперпендикулярна, она узкая, а где квазипараллельна, она широкая (см. рисунок на с. 33).

В начале 70-х годов космические аппараты начали регистрировать слабые потоки энергичных частиц, ионно-звуковых колебаний и альфвеновских волн далеко вверх по потоку от того места, где должна была бы быть земная ударная волна. В ходе программы ISEE, выполнение которой началось в 1970 г., было установлено, что вся активность в области вверх по потоку является частью протяженной квазипараллельной ударной волны. Эта волна настолько широка, что Земля оказывается «лилипутом» по сравнению с ней, поэтому с помощью спутников на земной орбите просто невозможно определить ее размеры.

Однако другой, еще более обширный класс ударных волн удается исследовать с помощью космических аппаратов. Вспышки в солнечной короне производят гигантские ударные волны, распространяющиеся по межпланетной среде до самых дальних уголков Солнечной системы. Их можно наблюдать во время прохождения мимо космического аппарата, оснащенного соответствующими научными приборами. Один из нас (Кеннел) вместе с коллегами по проекту ISEE обнаружил, что толщина области альфвеновской и ионно-звуковой турбулентности перед квазипараллельной межпланетной ударной волной может превышать миллион километров.

Особенно важную роль альфвеновские волны играют в ударных волнах, которые формируются перед кометами, когда они движутся в Солнечной системе сквозь солнечный ветер. Ядро кометы слишком мало, чтобы вызвать заметные возмущения в потоке солнечного ветра (например, размер ядра кометы Галлея составляет всего около 15 км), а собственное магнитное поле ядра пренебрежимо мало. Такие параметры не позволяют комете возбудить собственную ударную волну, как это происходит вблизи планет. Тем не менее ученые обнаружили, что, когда кометы приближаются к Солнцу, они создают протяженные ударные волны.

Под действием солнечного света атомы и молекулы испаряются с поверхности кометного ядра. Бóльшая часть высвобождающегося газа ионизуется солнечным ультрафиолетовым излучением и формирует плазменное облако, похожее на ионосферу Земли. Солнечный ветер никогда не проникает в кометную ионосферу, и отнюдь не ионосфера формирует ударную волну. Главная роль в образовании кометной ударной волны отводится небольшому числу нейтральных атомов и молекул, которым удается вырваться из кометной ионосферы. В конечном итоге они также ионизуются, однако гораздо дальше от ядра кометы, когда оказываются в солнечном ветре.

Эти вновь ионизованные частицы реагируют на воздействие электрических и магнитных полей солнечного ветра, присоединяясь к потоку. Они увеличивают массовую плотность солнечного ветра, что, согласно закону сохранения импульса, уменьшает скорость потока. Кометные ионы значительно тяжелее протонов солнечного ветра, поэтому относительно небольшое их число может существенно замедлить солнечный ветер.

Более 20 лет назад Л. Бирманн из Института астрофизики Макса Планка в Мюнхене предположил, что тормозящийся поток солнечного ветра может формировать ударную волну, похожую на планетарные ударные волны. Во время полета к комете Галлея в 1986 г. советский космический аппарат «Вега-1» «услышал какофонию плазменных волн», которая указывала на существование ударной волны на расстоянии около миллиона километров от ядра, которое близко к предсказанному теорией Бирманна.

Советский космический аппарат «Вега», японский «Суисеи» и европейский «Джотто» обнаружили как квазиперпендикулярную, так и квазипараллельную ударные волны у кометы Галлея. Квазипараллельная ударная волна оказалась похожа на планетную. Однако перед квазиперпендикулярной ударной волной тяжелые ионы генерируют интенсивную альфвеновскую турбулентность, что не наблюдается вблизи планет.

Ударные волны, генерирующие альфвеновские волны, могут ускорять небольшую группу частиц до высоких энергий. «Столкновения» частиц с альфвеновскими колебаниями возвращают частицы назад к фронту ударной волны. Каждый раз при пересечении ударной волны они увеличивают свою энергию. Этот процесс ускорения основан на механизме, предложенном Э. Ферми в 1954 г. В 1986 г. один из нас (Кеннел) и его коллеги по проекту ISEE обнаружили, что теория ускорения Ферми, развитая для межпланетных ударных волн М. Ли из Университета Нью-Гемпшира, успешно подтверждается наблюдениями. Однако процесс Ферми развивается настолько медленно, что протоны, ускоряемые квазипараллельной межпланетной ударной волной, достигают энергий только лишь около нескольких сотен килоэлектронвольт за один день, в течение которого солнечный ветер распространяется от Солнца до Земли.

Взрывающиеся звезды — сверхновые — создают очень сильные ударные волны, врывающиеся в межзвездную плазму со скоростями несколько десятков тысяч километров в секунду. Мы не можем поместить приборы перед ударной волной от сверхновой, так что нельзя с уверенностью сказать, генерирует или нет ударная волна альфвеновские волны и ускоряет ли межзвездные ионы. Однако и в этом случае можно применить теорию ускорения частиц, которая была проверена на наблюдениях ударных волн в Солнечной системе.

Если учесть, что ударные волны от сверхновых живут около миллиона лет, частицы имеют достаточно времени для того, чтобы набрать чрезвычайно высокие энергии за счет процесса ускорения Ферми. Работая независимо, Г. Ф. Крымский из Института космофизических исследований и аэрономии СО АН СССР в Якутске, Р. Блэндфорд из Калифорнийского технологического института и И. Аксфорд из Института аэрономии общества Макса Планка в Катленбург-Линдау вместе со своими коллегами показали в 1977 г., что распределение частиц, ускоренных на бесстолкновительных ударных волнах, идентично распределению частиц в космических лучах.

Происхождение космических лучей долгое время оставалось загадкой. Сейчас многие астрофизики считают, что они возникают в процессе ускорения частиц на ударных волнах от сверхновых, хотя до сих пор неясно, как частицы достигают самые высокие из наблюдаемых энергий.

Бесстолкновительные ударные волны, возможно, существуют даже в окрестностях далеких галактик. Динамические процессы в ядрах некоторых галактик (по-видимому, связанные с существованием там массивной черной дыры) создают сверхзвуковую струю (джет) длиной в сотни тысяч световых лет. Ударная волна может возникать при взаимодействии джета с плазмой, окружающей Галактику. А. А. Галеев, директор Института космических исследований АН СССР в Москве, предполагает, что теория, разработанная им и его коллегами для объяснения ускорения электронов нижнегибридными колебаниями на земной ударной волне, может также прояснить, как электроны ускоряются в галактических джетах.

Современные исследования бесстолкновительных ударных волн охватывают явления, чрезвычайно разные как по масштабам, так и по своей природе. Физические принципы, развитые нами и другими исследователями 20 лет назад, оказались реальной основой для понимания бесстолкновительных ударных волн. С помощью космических аппаратов обнаружены почти все типы ударных волн, предсказанных теорией. На очереди стоят более тонкие наблюдения и вычисления на компьютерах, моделирующие в деталях впечатляющее разнообразие ударных волн, наблюдающихся в природе. В большинстве случаев описанные здесь достаточно простые механизмы переплетаются сложными и интересными способами. Однако уже сейчас теория бесстолкновительных ударных волн позволяет физикам обсуждать процессы, лежащие в основе некоторых наиболее грандиозных явлений во Вселенной.

Наука и общество

Золотые рукопожатия и золотые оковы

Когда наступают тяжелые времена и нужно сократить издержки, работодатели часто предлагают своим работникам досрочно уйти на пенсию. Уход на пенсию людей, имеющих высокую заработную плату, в любом случае приводит к экономии денег — независимо от того, сокращаются ли эти должности совсем или на место ушедших в конце концов приходят более молодые и ниже оплачиваемые работники. Хотя экономисты обычно скептически относятся к мнению о том, что седовласые ветераны могут быть носителями таких не поддающихся количественному определению качеств, как корпоративная память, планы досрочной отправки на пенсию могут иметь последствия, выходящие за рамки сокращения краткосрочных издержек.

Использование стимулов к досрочному уходу на пенсию выдвигает на первый план экономическое обоснование так называемого социального контракта, заключаемого между работодателем и теми, кто трудится по найму. В настоящее время, когда принудительный уход на пенсию в США в основном отменен, всякий уход на пенсию сейчас можно рассматривать как «досрочный». Учитывая имеющийся у работодателей опыт в вопросах раннего ухода работников на пенсию, можно прогнозировать поведение того поколения людей, работающих по найму, которое сейчас приближается к среднему возрасту.

Как считают специалисты по экономике труда, компании традиционно переплачивают пожилым работникам и недоплачивают более молодым, выполняющим такую же работу. Некоторые видят в подобной компенсационной системе одну из форм укрепления производственной дисциплины: любой уволенный в молодом возрасте лишается хорошо оплачиваемой старости. Другие полагают, что переплата ветеранам — это отсроченные выплаты в виде заработной платы. И наконец, сторонники третьей точки зрения считают заботу о ветеранах частью издержек, которые фирмы вынуждены нести за использование труда высококвалифицированных работников.

Этот негласный социальный контракт пользуется определенной офи-

Зависимость заработной платы и производительности труда от возраста работника

циальной поддержкой. Законом запрещена дискриминация пожилых работников, и во многих контрактах предусматривается их защита от временных увольнений. Джеймс Л. Медофф из Гарвардского университета и Кэтрин Г. Эйбрахам из Мэрилендского университета установили, что в более чем 80% фирм пожилые работники либо никогда не подвергаются временным увольнениям раньше своих молодых коллег, либо увольняются первыми лишь в тех случаях, когда более молодой работник рассматривается как значительно более ценный специалист.

Однако компании иногда вынуждены нарушать этот социальный контракт, особенно в периоды спадов. Обычно бóльшие прибыли будет получать компания, способная обеспечить такую структуру своей рабочей силы, при которых доля молодых, ниже оплачиваемых работников будет выше среднего уровня. При этом достигается не только более низкий общий уровень заработной платы, но также может обеспечиваться и более высокое качество выполнения работы. Медофф и Эйбрахам обнаружили, что люди, выполняющие одну и ту же работу в течение многих лет, могут трудиться менее производительно, чем новички. Длительное пребывание в одной должности, считает Медофф, означает, что работника постоянно обходят при повышении.

Одним из способов избежать выполнения социального контракта является создание для работников-ветеранов стимулов к досрочному уходу на пенсию. По существу компания делится доходами, получаемыми благодаря возможности иметь более молодую рабочую силу, с теми ветеранами, которые согласны «уступить дорогу». «Откуп» может быть в форме выплаты суммы дополнительной годовой заработной платы, растянутой на двухлетний период, специальных пенсионных льгот (таких, как недавняя отмена минимального возраста для получения полной пенсии в компании IBM) или даже в форме единовременных выплат.

Но предложения о досрочном уходе на пенсию могут вызвать и отрицательные последствия: в одних случаях людей уходит слишком мало, в других — слишком много. В 1984 г. власти штата Нью-Йорк были вынуждены нанять на работу около 4000 человек для замены тех, кто «покинул корабль». А в 1985 г. фирма Du Pont столкнулась с острой нехваткой рабочей силы после того, как не 5000, как ожидалось, а 11 5000 человек согласились на щедрые условия выхода на пенсию. «В этом деле многое напоминает игру в кости», — считает специалист по экономике труда из Корнеллского университета Оливия С. Митчелл.

Даже если в количественном отношении все вроде бы обстоит нормально, использование стимулов к уходу на пенсию может принести отрицательные результаты: лучшие работники уйдут, а худшие — останутся. И это вполне понятно, считает Митчелл — способные работники могут найти аналогичную работу в другом месте и при этом получать пенсию. Посредственные работники имеют меньшие возможности преуспеть в получении денег в двух местах.

Чтобы защитить себя от подобных случаев, некоторые работодатели включают в предложение о досрочном уходе на пенсию пункт о «производственной необходимости», что позволяет им налагать запрет на увольнение наиболее ценных работников. Но использование этого пункта может привести к судебному разбирательству. Другие работодатели изменяют величину «откупа». Станфордский университет, например, имеет систему стимулирования, разработанную таким образом, что сотрудники, наименее ценимые на факультетах, получают максимальные пособия при досрочном уходе на пенсию. Однако нет достаточных данных для того, чтобы выяснить, достигает ли такое стимулирование поставленных целей, считает Альберт Риз из Принстонского университета, специализирующийся в проблемах увольнения на пенсию сотрудников научных учреждений.

Кроме того, непонятно, каким образом могут действовать такие стимулы, если фирмам придется «откупаться» от почти всех ветеранов. Действительно, неясно, как может быть изменен социальный контракт о найме на работу, если не существует предсказуемого срока окончания периода, в течение которого ветеранам может производиться переплата. Если оставить в стороне юридический аспект дела, то полный отход от старых образцов мог бы вызвать у работников чувство, что их предали, и привести к снижению материальной заинтересованности в сохранении верности компании.

Одним из возможных выходов из такого положения является частичный выход на пенсию. Алан Л. Гастман из Дартмутского колледжа отмечает, что каждый третий работник, уходящий со своей основной должности, находит менее ответственную работу в другом месте. Среди таких мест — предприятия общественного питания и гостиницы, которым, как оказалось, выгодно брать пожилых людей на работу на неполный рабочий день. По мнению Гастмана, еще больше людей воспользовались бы таким вариантом, если бы большинство компаний по-прежнему не ставило условие, что нанимаемые сотрудники должны работать почти полный рабочий день или не работать вообще.

Частичный уход на пенсию мог бы явиться действенной альтернативой занятости для пожилых людей, согласных на меньшую заработную плату за меньший труд. Но что же делать с теми, кому компании переплачивают и кто желает по-прежнему трудиться полный рабочий день? Хорошей новостью является то, что таких людей может оказаться немного. «Мало кто хочет продолжать работать после 70 лет», — замечает Гастман. Пока же социальный контракт продолжает действовать.

Пол Уоллич и Элизабет Коркоран

Вирус гепатита В

Этот необычный вирус вызывает болезни печени и распространенную форму рака. Новые вакцины, полученные с помощью методов генной инженерии, дают надежду в конце концов победить и то и другое

ПЬЕР ТИОЛЛЕ, МАРИ-АННИК БУЭНДИА

Широко распространенная болезнь печени, называемая гепатитом В, представляет собой серьезную проблему как сама по себе, так и потому, что скрывает еще бóльшую угрозу: вирус, вызывающий гепатит В, является вторым по важности (первым считается табак) известным канцерогеном человека. Сотни миллионов людей — преимущественно в регионах с плохой медицинской помощью — хронически заражены этим вирусом, и для них повышен риск рака печени. При этом, хотя множество хронических носителей здоровы, они могут заражать лиц, находящихся в близком контакте с ними, таким образом начиная новый цикл инфекции.

К счастью, перспективы для того, чтобы прервать этот цикл, в последнее десятилетие существенно улучшились. Технология рекомбинантных ДНК, или генная инженерия, раскрыла множество секретов вируса гепатита В (HBV — от англ. hepatitis B virus). Сегодня уже достигнуто понимание его причудливого жизненного цикла, и, вероятно, скоро можно будет ответить на вопрос о том, как этот вирус вызывает рак. Более того, вакцины, созданные с помощью методов генной инженерии, могут предотвратить распространение HBV.

Первый шаг в идентификации вируса гепатита В был сделан в 1963 г., когда Б. Бламберг (в то время сотрудник Института онкологии в Филадельфии) изучал определенные белки в сыворотке крови. В пробе, взятой у больного гемофилией, он обнаружил антитела, реагировавшие с антигеном, который присутствовал в крови австралийского аборигена, зараженного гепатитом. В 1968 г. Бламберг идентифицировал поверхностный антиген HBV (HBsAg).

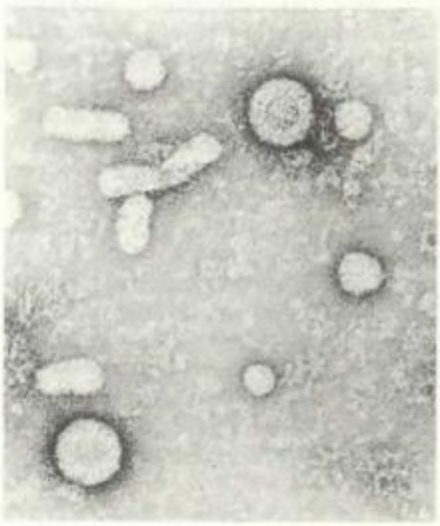
В следующее десятилетие исследованиям очень мешало отсутствие культуры клеток для размножения HBV. Однако начиная с 1978 г. в нашей и других лабораториях начали использовать для изучения HBV технологию рекомбинантных ДНК. На сегодня эти работы — наиболее успешное применение генной инженерии для целей медицинской вирусологии.

Люди, зараженные HBV, зачастую не знают об этом. После инкубационного периода, длящегося от 2 до 6 месяцев, инфекция HBV может приводить к острому гепатиту и повреждению печени, что является причиной болей в животе, желтухи, повышенного уровня некоторых ферментов в крови и других симптомов. На этой стадии вирусная инфекция может быть диагностирована путем обнаружения HBsAg в сыворотке крови пациента. Однако чаще болезнь протекает без каких-либо симптомов. В очень редких случаях заражение HBV приводит к скоротечному гепатиту — быстро прогрессирующей, часто смертельной форме болезни, когда обширные участки печени разрушаются. Повреждение печени не означает, что вирус более вирулентен, а является следствием усиленного иммунного ответа организма-хозяина: цитотоксические Т-лимфоциты атакуют зараженные клетки, несущие вирусные антигены.

Обычно больные с острой формой гепатита полностью выздоравливают. Клинические и биологические симптомы инфекции постепенно исчезают по мере того, как в организме вырабатывается все больше антител к вирусу. После выздоровления продолжается образование таких антител, но уже на низком уровне, что обеспечивает иммунитет к HBV на протяжении нескольких лет. При новой атаке организма этим вирусом уровень антител быстро возрастает и они нейтрализуют вирусные частицы.

Однако в некоторых случаях, несмотря на высокий уровень вирусного антигена в крови в течение нескольких лет или всей жизни человека, антитела против HBsAg не вырабатываются. Вирус сохраняется в печени, и человек становится хроническим носителем. Механизм такого хронического состояния до конца не ясен; по-видимому, он связан со слабым иммунным ответом. Тогда понятно, почему инфекция переходит в хроническую почти у 80% детей, иммунная система которых еще незрелая, и только у 5—10% взрослых.

Хроническая инфекция может протекать в различной форме. Иногда носитель остается практически здоровым, испытывая лишь незначительные неприятности с печенью и не имея функциональных расстройств. Бывает, что развивается практически бессимптомный хронический гепатит, проявляющийся в эпизодическом «беспричинном» утомлении. В худшем случае развивается активный хронический гепатит, что впоследствии может приводить к циррозу печени и злокачественной гепатоме — первичному раку печени, развивающемуся из печеночных клеток. Обычно



ВИРУС ГЕПАТИТА В (HBV) имеет сложную структуру: полная вирусная частица состоит из двух белковых оболочек и ДНК, заключенной внутри капсида (внутренней оболочки). В крови зараженных людей присутствует также много неполных вирусных частиц, как показано на микрофотографии (*вверху*). У этих частиц сферической или продолговатой формы нет внутренней структуры и на поверхности присутствуют только два из трех характерных белков оболочки.

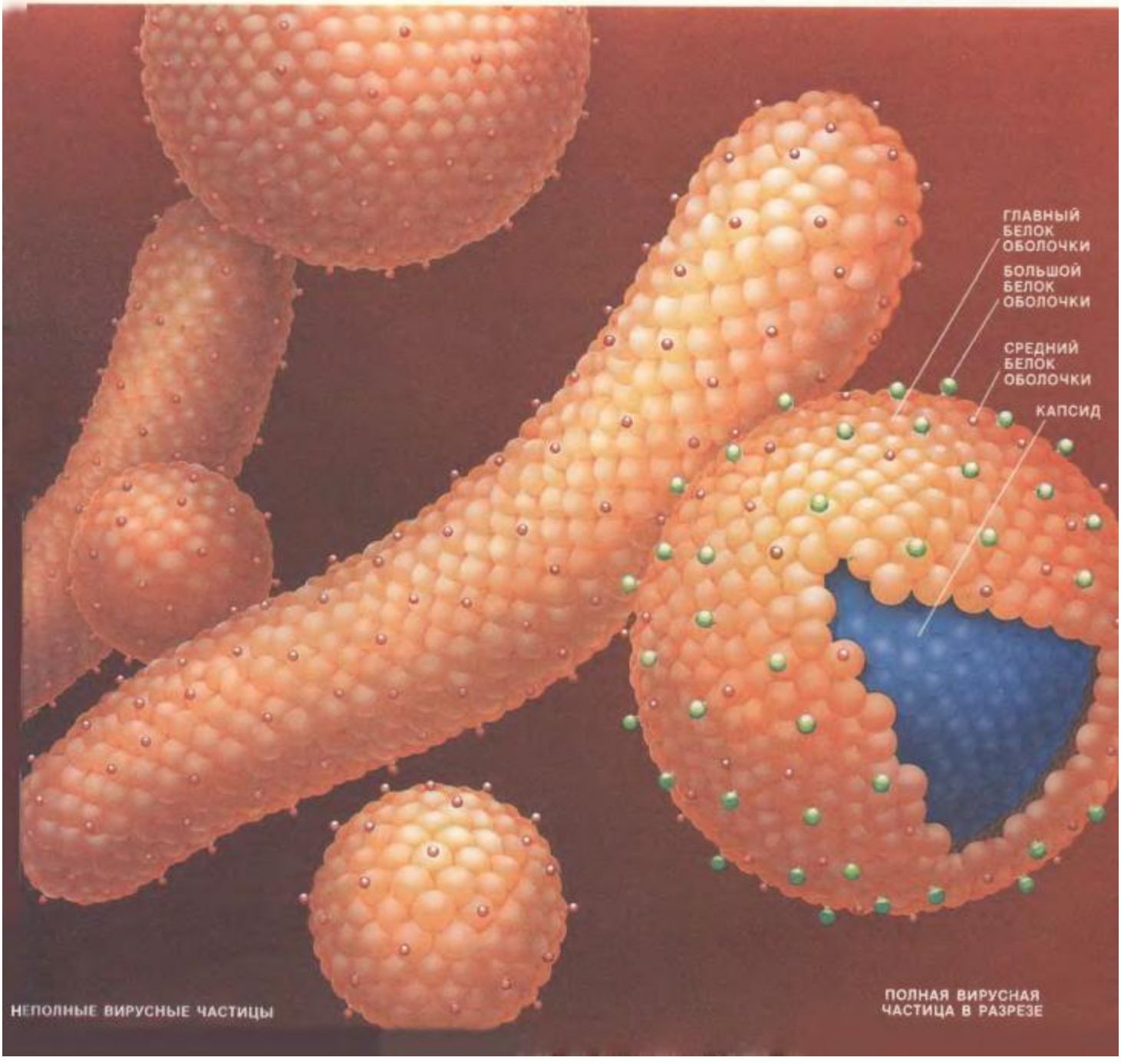
рак развивается по истечении латентного периода продолжительностью в 30—50 лет, однако случаи гепатомы отмечались и у детей.

Сегодня связь между хроническим заражением HBV и развитием рака печени очевидна. Среди больных гепатомой доля хронических носителей HBV выше, чем в остальной части населения. Более того, эпидемиологические исследования, проведенные на Тайване Р. Палмером Бизли из Техасского университета в Хьюстоне, показали, что для хронических носителей HBV риск гепатомы в 100 раз больше, чем для здоровых людей. Другие исследования также обнаружили однозначную причинно-следственную связь между HBV и гепатомой. Этот вирус — один из немногих, о котором достоверно известно, что он вызывает специфический рак у человека.

Связь между HBV и раком печени особенно важна в свете того, что зараженность неселения HBV весьма высока. В целом в мире хронической инфекцией HBV поражено более 300 млн. человек, из них три четверти в Азии. Количество хронических носителей HBV сильно варьирует в различных регионах. Так, в Юго-Восточной Азии и тропической Африке оно составляет более 10% населения, в то время как в Северной Америке и большинстве стран Западной Европы — менее 1%.

В развивающихся странах вирус чаще всего передается от зараженной матери к ребенку преимущественно во время родов или в первый месяц его жизни. Если это девочка, то она скорее всего станет хроническим носителем и впоследствии передаст HBV своему потомству. Однако передача вируса от матери к ребенку — не единственно возможный механизм. Поскольку вирус обнаруживается в крови, слюне и сперме, любой сексуальный или иной тесный контакт может привести к заражению. Этим и объясняется легкое распространение гепатита В в семьях и малых сообществах.

В промышленно развитых странах Запада бóльшую роль играют другие механизмы передачи. Риск заражения высок для тех, кто вступает в контакт с хроническими носителями или имеет дело с их кровью: дантистов и других врачей, медицинских сестер, реципиентов донорской крови (больных гемофилией, пациентов, которым требуется переливание крови или диализ), гомосексуалистов и лиц, имеющих несколько половых партнеров, а также наркоманов, практикующих



ХРОНИЧЕСКИЕ НОСИТЕЛИ HBV наиболее часто встречаются в развивающихся странах, где инфекция носит эндемический характер. Только в Азии их зарегистрировано около 225 млн.

внутривенные инъекции. Для людей, не относящихся к перечисленным группам, риск заболеть гепатитом невелик. Собственно, по эпидемиологии гепатит В похож на СПИД — этим и объясняется тот факт, что инфекция HBV часто имеет место у больных СПИДом. Но надо отметить, что гепатит более заразен, чем СПИД.

Таким образом, гепатитом болеют в развивающихся странах преимущественно дети, а в странах Запада — взрослые. Это различие имеет практическое значение для стратегии вакцинации: если в первой категории государств необходима массовая вакцинация, то во второй она должна охватывать лишь группы высокого риска.

АНТИВИРУСНЫЕ вакцины действуют по принципу активации иммунной системы человека против вирусных молекул. Вначале исследования HBV были посвящены главным образом расшифровке структуры и жизненного цикла вируса с целью обнаружить подходящие для вакцины мишени.

Все вирусы являются внутриклеточными паразитами и состоят из нуклеиновой кислоты — РНК или ДНК, — содержащей геном (полный набор генов), которая упакована в белковую оболочку. Для размножения вирус проникает в клетку и использует клеточные механизмы для синтеза белков оболочки и вирусных генов, из которых формируются новые вирусные частицы, покидающие затем клетку-хозяина и заражающие другие клетки.

HBV имеет две белковые оболочки. Внешняя состоит из трех белков, которые называются главным, средним и большим. Поверхностный антиген HBsAg находится на всех трех белках. Внутренняя оболочка, называемая капсидом, образована молекулами одного белка, который окружает вирусную ДНК, взаимодействуя с ней.

Геном HBV, впервые выделенный У. Робинсоном из Медицинской школы Стэнфордского университета в 1974 г., представляет собой кольцевую молекулу ДНК, состоящую примерно из 3200 нуклеотидов. Это наименьший из известных геномов вирусов животных; к примеру, геном вируса простого герпеса в 50 раз больше. Как и у большинства организмов, ДНК HBV является двухцепочечной, но необычна тем, что одна цепь длиннее другой. Короткая «плюс»-цепь по своей длине, которая может варьировать, составляет лишь 50—80% «минус»-цепи. (Как будет объяснено ниже, такая структура возникает в результате уникального механизма репликации.) Кольцевая структура генома поддерживается благодаря спариванию оснований двух цепей на одном из концов.

В конце 1970-х годов наша исследовательская группа, используя технологию рекомбинантных ДНК, клонировала геном HBV в бактериях *Escherichia coli*. Благодаря этому стало возможным получать большие количества компонентов вируса для его дальнейшего изучения. П. Шарней из нашей лаборатории совместно с Ф. Галибером из Больницы Сан-Луи в Париже определил полную нуклеотидную последовательность генома HBV, таким образом впервые получив информацию о генетической организации вируса.

Геном HBV — это чудо компактности. Он состоит только из четырех генов, названных *S*, *C*, *P* и *X*, которые сильно перекрываются. В эти кодирующие последовательности включены также регуляторные последовательности, управляющие синтезом вирусных белков и циклом репликации. Ген *S* кодирует главный белок оболочки и содержит всю информацию об антигене HBsAg. Кроме того, вместе с геном *S* транскрибируется около 500 предшествующих ему нуклеотидов. Как показал В. Герлих из Геттингенского университета, эта последовательность может быть разделена на две области — пре-*S*1 и пре-*S*2, которые участвуют в синтезе других белков оболочки; средний белок кодируется пре-*S*2 и геном *S*, а большой — пре-*S*1, пре-*S*2 и геном *S*. А. Нойрат из Нью-Йоркского центра крови обнаружил, что область пре-*S*1 также играет важную роль в проникновении вируса в клетки печени.

Ген *C* кодирует белок капсида. Как и гену *S*, гену *C* предшествует короткая область пре-*C*, которая кодирует гидрофобный пептид, участвующий в сборке вирусной частицы. Ген *P* очень большой: он включает части всех других генов, кодируя ферменты, необходимые для репликативного цикла вируса. Ген *X* располагается на так называемых «липких» концах вирусной ДНК. Кодируемый им белок активирует экспрессию всех вирусных генов, взаимодействуя со специфической последовательностью вирусной ДНК.

В течение жизненного цикла HBV синтез вирусных белков жестко регулируется на уровне транскрипции и трансляции. Известны два типа матричных РНК (мРНК), синтезирующихся при транскрипции генома HBV. Меньшая из них, состоящая из 2100 нуклеотидов, кодирует главный и средний белки оболочки. Бóльшая мРНК, включающая 3500 нуклеотидов, оказалась, как ни странно, длиннее генома HBV: она содержит концевые повторы длиной 100 нуклеотидов. Как показано Х. Вармусом из Калифорнийского университета в Сан-Франциско и Х. Шаллером из Гейдельбергского университета, эта мРНК кодирует белок капсида и продукты гена *P*. Она также является интермедиатом репликации вирусной ДНК.

Энхансеры (усилители транскрипции) HBV активируют экспрессию всех вирусных генов и действуют преимущественно в клетках печени. Другие регуляторные элементы модули-

руют уровень экспрессии отдельных белков. Хорошей иллюстрацией этого сложного механизма являются различия в количестве большого, среднего и главного белков оболочки, наблюдаемые в зараженных клетках печени. Большой белок синтезируется лишь в малом количестве и имеется только на поверхности инфекционной полной вирусной частицы. В противоположность этому главный белок (и в меньшей степени средний) синтезируется в большом количестве и покидает клетку в составе малых (диаметром 22 нм) частиц, которых в сыворотке крови значительно больше, чем полных вирусных частиц.

Одним из важнейших вопросов, на который мы стремились ответить, был вопрос о том, как экспрессируются различные гены HBV. Нами было обнаружено, что трансгенные мыши, несущие целый геном HBV или его часть, могут служить мощным инструментом для изучения экспрессии вирусных генов в нормальных тканях. Используя таких животных, К. Пурсел в нашей лаборатории пыталась выяснить, почему HBV заражает преимущественно определенных хозяев и определенные типы тканей. Она показала, что ген *S* экспрессируется на очень высоком уровне только в клетках печени и под влиянием стероидных гормонов. Эти данные объяснили тот факт, что риск гепатомы, хронической инфекции HBV и поражения печени для мужчин больше, чем для женщин, у которых уровень стероидных гормонов ниже.

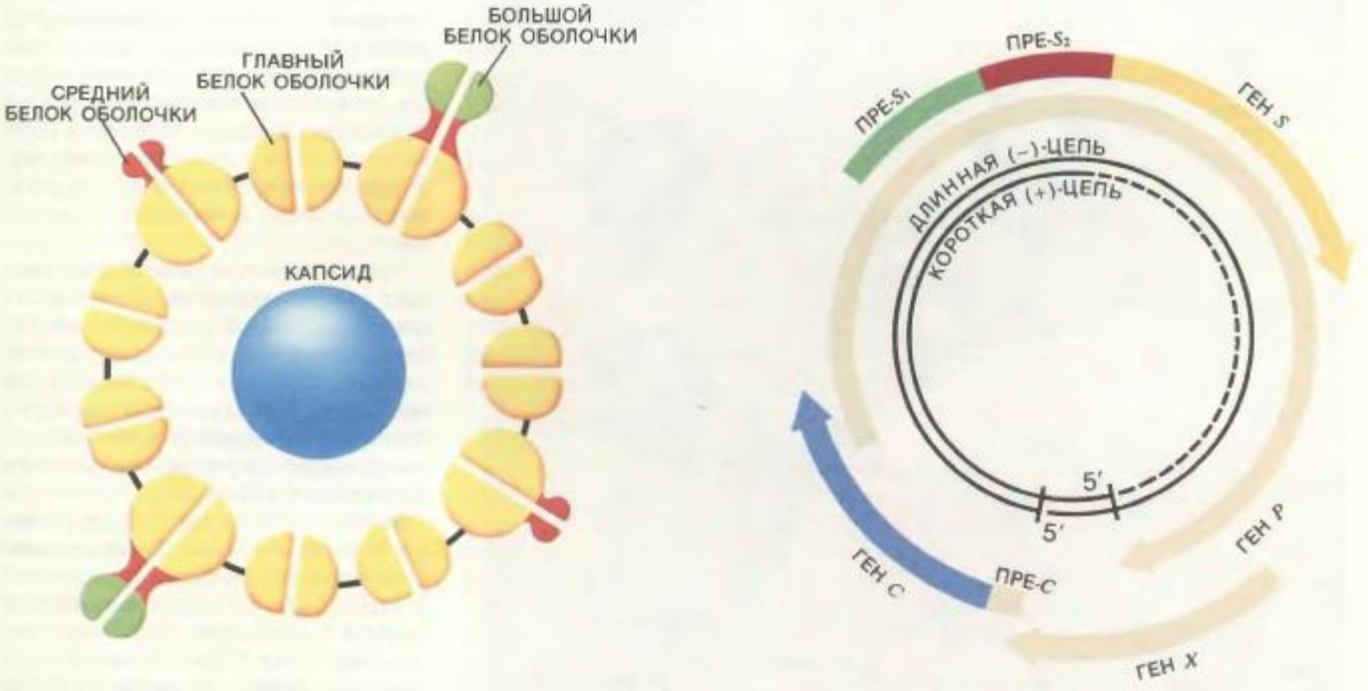
У трансгенных мышей некоторых линий репликативные формы вирусной ДНК присутствовали не только в печени, но также в почках и сердце. Это аналогично сродству HBV к различным тканям у человека: хотя он чаще всего поражает печень, но вирусная ДНК и белки также обнаруживаются в почках, селезенке, поджелудочной железе, коже, костном мозге и циркулирующих клетках крови. Клетки крови могут быть первыми мишенями при инфекции HBV. Возможно также заражение печени после трансплантации других зараженных тканей. Заражение определенных лейкоцитов может играть прямую роль в некоторых болезнях, таких, как апластическая анемия и полиартрит, а также вести к развитию СПИДа и связанных с ним заболеваний.

Некоторые представления о HBV сложились на основании изучения сходных вирусов — гепаднавирусов, которые вызывают у животных заболевания, подобные гепатиту. Известны гепаднавирусы, заражающие лесных сурков, бурундуков, пекинских уток, белок и цапель. По внешнему виду вирусных частиц эти вирусы очень похожи на HBV. Геном у них представлен кольцевой частично одноцепочечной ДНК, и организация его такая же, как у HBV.

Репродукция гепаднавирусов происходит необычным образом. У большинства ДНК-содержащих вирусов копирование генома осуществляется ферментами, называемыми полимеразами; при этом исходные цепи ДНК являются матрицами для синтеза комплементарных цепей. А у гепаднавирусов репликация идет через промежуточное звено — синтез РНК. Этот механизм был обнаружен в 1982 г. Дж. Саммерс и У. Мейсоном из Онкологического центра Фокс Чейз в Филадельфии, изучавшими гепаднавирус пекинских уток.

Оказалось, что происходит следующее. После того как вирусная частица проникла в клетку, ее геном попадает в ядро. Там клеточная ДНК-зависимая РНК-полимераза синтезирует РНК размером 3500 нуклеотидов, которая называется прегеномом. Далее прегеном и вирусная ревертаза (ДНК-полимераза) упаковываются во вновь сформированный капсид и переносятся в цитоплазму, где происходит обратная транскрипция прегенома — синтезируется новая «минус»-цепь ДНК. После этого прегеном разрушается соответствующими ферментами и начинается синтез «плюс»-цепи ДНК, матрицей которой служит «минус»-цепь. Капсид и вирусная ДНК в конце концов заключаются в новую внешнюю оболочку, и готовая вирусная частица покидает клетку. Рост «плюс»-цепи ДНК немедленно прекращается, как только вирус выходит из клетки, поэтому длина этой цепи варьирует.

В целом удивительный механизм репликации гепаднавирусов больше



ВИРУСНЫЕ БЕЛКИ в инфекционной частице HBV (*слева*) кодируются перекрывающимися генами вирусной ДНК (*справа*). Белки изображены тем же цветом, что и соответствующие им гены. Остальные гены кодируют продукты, важные для жизненного цикла вируса.

Как происходит репликация вируса гепатита В

1 Вирус заражает клетку печени.

2 Ферменты удлиняют короткую цепь вирусной ДНК.

3 Вирусная ДНК проникает в ядро клетки, где синтезируется РНК-копия длиной 3500 нуклеотидов (прегеном).

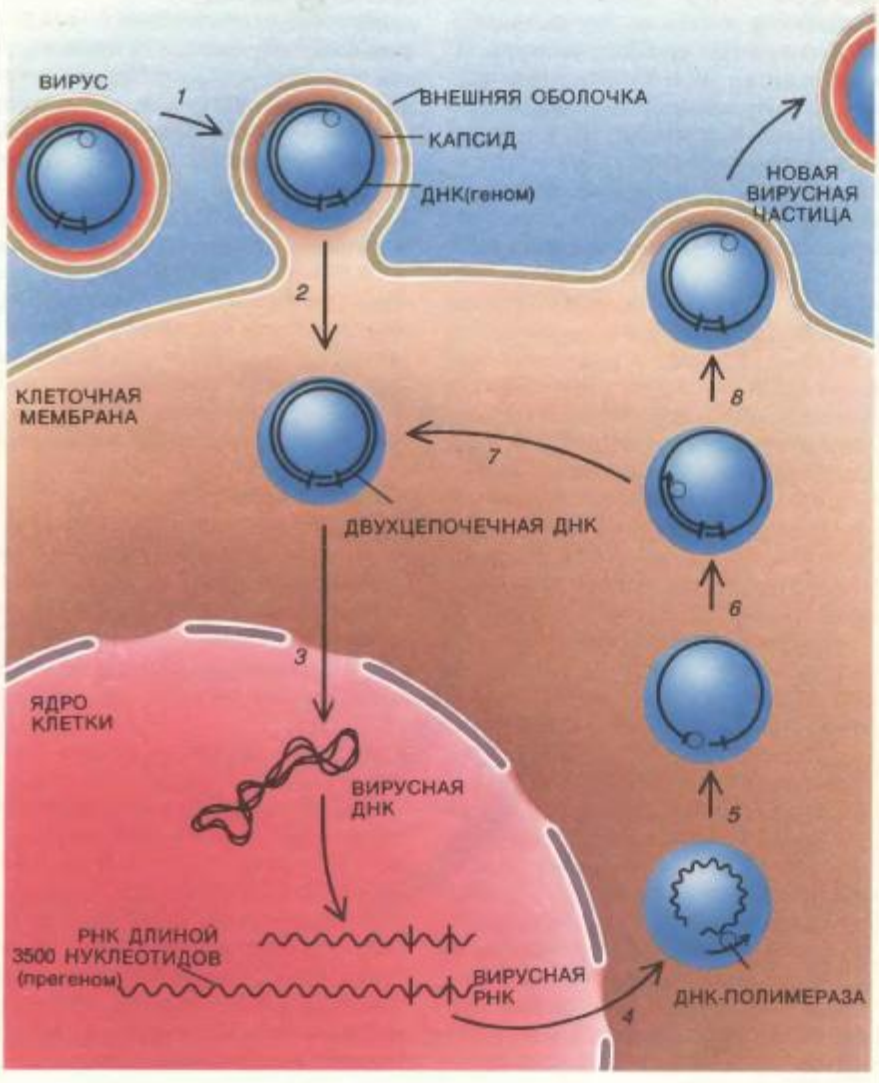
4 Прегеном упаковывается в новосинтезированный капсид. Полимераза начинает синтезировать ДНК-копию прегенома, используя эту РНК как матрицу.

5 Новая цепь ДНК является копией длинной цепи исходной вирусной ДНК. По завершении ее синтеза прегеном разрушается.

6 Полимераза синтезирует комплементарную цепь ДНК, используя новую длинную цепь ДНК как матрицу.

7 Вирусная ДНК может существовать в клетке довольно долго, прежде чем станет полностью двухцепочечной. Затем она возвращается в ядро для следующего раунда репликации.

8 Если новая вирусная частица не реплицируется, а выходит из клетки, капсид покрывается новой оболочкой и немедленно прекращается удлинение короткой цепи ДНК.



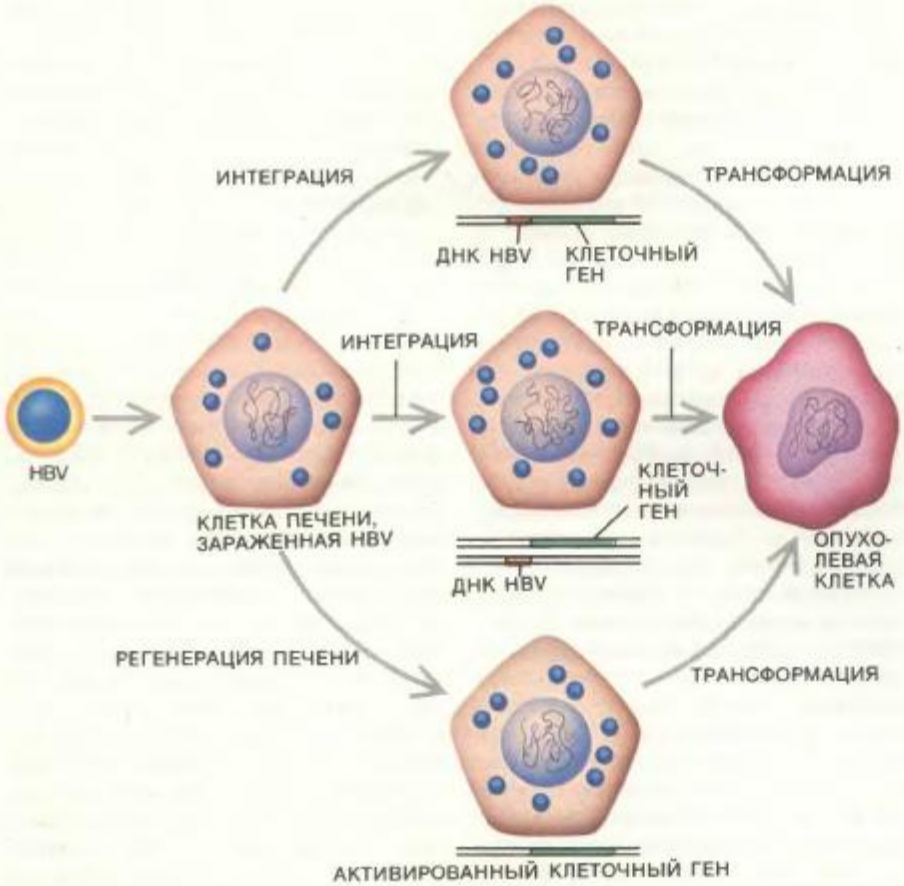
всего напоминает таковой ретровирусов (например, вируса, вызывающего СПИД), у которых геном представлен РНК, а ДНК является промежуточным звеном. Гепаднавирусы и ретровирусы имеют и другие общие свойства. И те и другие способны к хронической инфекции: они могут заражать клетки, не разрушая их. Структура и функции генов *gag*, *pol* и *env* ретровирусов аналогичны соответственно генам *C*, *P* и *S* гепаднавирусов (*gag* кодирует белок капсида, *pol* — полимеразу, *env* — белок оболочки). Вирусы обоих семейств вызывают некоторые раковые заболевания.

Эпидемиологические исследования явно свидетельствуют, что хронической инфекции HBV или сходными гепаднавирусами достаточно для злокачественного поражения печени. К примеру, у млекопитающих, хронически зараженных гепаднавирусами, часто бывают опухоли печени: более 80% зараженных земляных сурков приобретают первичный рак печени в течение двух лет. Х. Поппер из Корнеллского университета и Дж. Герин из Джорджтаунского университета с коллегами также показали, что у земляных сурков можно экспериментально вызвать гепатому путем инокуляции видоспецифичным вирусом гепатита.

Эти данные подтвердили онкогенные свойства HBV и исключили необходимость канцерогенных кофакторов для развития рака печени. Однако в заболевании человека могут играть роль и другие факторы, поскольку латентный период, предшествующий развитию гепатомы у людей, значительно длиннее, чем у земляных сурков, и опухоли часто возникают на фоне цирроза печени. Поэтому в генезисе гепатомы у человека, вероятно, имеют значение канцерогены из окружающей среды и обильное потребление алкоголя.

Но вопрос о том, как HBV индуцирует рак, по-прежнему остается открытым. С одной стороны, этот вирус может прямо вызывать развитие опухоли, с другой — возможна его косвенная роль: опухоли печени могут возникать из-за хронического воспаления, цирроза и регенерации клеток в пораженных тканях.

Многие опухолеродные вирусы несут онкогены — гены, которые впрямую трансформируют зараженные клетки. (Сходные онкогены имеются также в клетках, где они, по-видимому, участвуют в регуляции роста и развития.) Однако в геноме HBV, судя по всему, нет онкогена. Кроме того, долгий латентный период между заражением и появлением гепатомы



ЗЛОКАЧЕСТВЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ клеток печени при инфекции HBV может происходить различными путями. Возможна интеграция вирусной ДНК в хромосомную ДНК клетки рядом с генами, участвующими в процессах клеточного роста (*вверху*), что вызовет их активацию. Интеграция может затронуть и другие участки клеточной ДНК (*в середине*). Возможно также, что в ходе регенерации печени после инфекции в клетках ошибочно активируются гены клеточного роста (*внизу*).

вряд ли совместим с идеей о том, что ее вызывает вирусный онкоген. Тем не менее возможно, что белок-трансактиватор, кодируемый геном *X* HBV, действует на ранней стадии канцерогенеза.

Вирус также может трансформировать клетку-хозяина в результате интеграции вирусной ДНК в хромосомную ДНК клетки. Внедрение вирусных последовательностей около клеточных онкогенов может нарушать экспрессию последних и быть причиной бесконтрольного роста. Это типично для ряда ретровирусов, вызывающих лейкозы и карциномы у млекопитающих и птиц после некоторого латентного периода. Хотя в процессе жизненного цикла HBV обычно его генетический материал не включается в геном хозяина, такие интегрированные формы могут случайно образовываться.

К. Брешо, который работал одно время в нашей лаборатории, Д. Шафриц из Медицинского колледжа им. Альберта Эйнштейна и В. Раттер из Калифорнийского университета в Сан-Франциско анализировали ДНК из гепатом и обнаружили вирусные последовательности, интегрированные в хромосомы опухолевых клеток. Такие последовательности наблюдались в основном в опухолях у хронических носителей HBsAg, но встречались и у пациентов, не имевших HBsAg. Интегрированная вирусная ДНК также иногда обнаруживается в печени у хронических носителей HBV, а это свидетельствует о том, что интеграция может происходить до или на ранней стадии формирования опухоли.

Анализ опухолей и клеточных линий показал, что ДНК HBV может включаться в клеточные хромосомы во многих разных местах. Это часто индуцирует различные генетические перестройки, такие, как делеции, транслокации и амплификации; подобные аномалии — общее явление для раковых заболеваний человека. Последствия этих генетических событий пока не вполне ясны.

В одном случае ранней гепатомы человека А. Дежан из нашей лаборатории обнаружила инсерцию ДНК HBV в ген из семейства генов, кодирующих рецепторы стероидных гормонов и гормонов щитовидной железы. Этот ген удалось выделить, и оказалось, что его продуктом является рецептор ретиноевой кислоты. Ретиноевая кислота сильно влияет на дифференцировку и пролиферацию клеток; с ее избытком на ранних стадиях беременности связаны некоторые врожденные дефекты. В культуре клеток это вещество может возвращать некоторые аномальные клетки в нормальное состояние, что используется при лечении лейкозов. Возможно, что мутация гена рецептора ретиноевой кислоты при интеграции в него ДНК HBV играет роль в генезисе гепатомы у человека.

В другом случае гепатомы человека Брешо (в настоящее время сотрудник Больницы Некер в Париже) обнаружил сходную интеграцию ДНК HBV в ген, кодирующий циклин А. Этот белок участвует в клеточном росте, и при ненормальной экспрессии его гена может нарушаться регуляция пролиферации клеток. О частоте таких вирусных инсерций в клеточный геном хотелось бы знать больше.

Мы получили дополнительную информацию о роли интеграции вирусной ДНК в развитии гепатомы, изучая опухоли лесных сурков, индуцированные видоспецифичным вирусом гепатита. В этих опухолях вирусная ДНК всегда включается в клеточный геном, причем в 30% случаев местом интеграции являются два гена из семейства клеточных онкогенов *myc*. В норме эти гены участвуют в регуляции клеточного роста и дифференцировки, но могут также иметь отношение к развитию лимфоидных опухолей и различных карцином. Часть вирусного генома, содержащая энхансер, внедряется около онкогена *myc*, не модифицируя сам ген. При этом синтезируются нормальные белки Myc, но их образование управляется вирусной генетической информацией, а не клеточными механизмами. В результате клетка производит белки Myc в избытке, что ведет к бесконтрольному клеточному росту. В принципе здесь действует тот же механизм, что и при ретровирусной индукции лимфоидных опухолей у грызунов и птиц.

Пока нет никаких указаний на то, что развитие гепатомы у человека имеет сходный механизм, и интенсивные исследования не обнаружили вызванных ДНК HBV инсерционных мутаций в онкогенах *myc*. Однако другие человеческие онкогены могут быть активированы прямо или косвенно инсерцией ДНК HBV. П. Хофшнайдер из

Института им. Макса Планка в Мюнхене показал, что интегрированная ДНК HBV определяет синтез модифицированных белков, которые стимулируют экспрессию вирусных и клеточных генов, в том числе мощных онкогенов. О непрямом действии вируса сообщил Ф. Чизари из научно-исследовательского института Скриппсовской клиники: у трансгенных мышей сверхпроизводство большого белка оболочки HBV ведет к хроническому поражению клеток печени и в конце концов к гепатоме.

В экспериментах с переносом ДНК К. Мацубара из Университета в Осаке продемонстрировал активацию двухклеточных онкогенов — гена *lca*, связанного только с гепатомой, и гена *hst-1*, участвующего в развитии рака желудка. В гепатомах человека наблюдались также другие генетические изменения, не так явно связанные с заражением HBV. Чтобы понять роль вируса в канцерогенезе на молекулярном уровне, необходимы дальнейшие исследования.

ОПИСАННЫЕ выше эксперименты показывают, как технология рекомбинантных ДНК использовалась для понимания биологии HBV. Этот подход имеет также практическое применение — в разработке диагностических методов и вакцин. Диагностические тесты для гепатита В усовершенствованы при помощи метода молекулярной гибридизации, основанного на высоком сродстве коротких цепей клонированной ДНК к комплементарной ДНК. Клонированная меченая вирусная ДНК может служить чувствительным и надежным зондом для обнаруженя инфекционных вирусных частиц в сыворотке крови. В настоящее время молекулярная гибридизация с использованием ДНК HBV служит обычным методом для обнаружения заражения гепатитом В. Поскольку, определив в организме вирусную ДНК, можно оценить интенсивность репликации вируса, этот метод также имеет значение для дальнейшего прогресса антивирусной терапии.

Дальнейшее повышение чувствительности метода молекулярной гибридизации связано с применением так называемой полимеразной цепной реакции, которая позволяет ферментативным путем получать в большом количестве нужные последовательности ДНК (см. статью: К. Мюллис. Необычайная история о том, как родилась полимеразная цепная реакция, «В мире науки», 1990, № 6). При использовании этой реакции чувствительность гибридизации диагностических тестов возрастает более чем в 1000 раз: удается обнаружить вирусные частицы в сыворотке крови в минимальной инфекционной концентрации — порядка 100 мл$^{-1}$.

Технология рекомбинантных ДНК привела к получению новых вакцин. Быстрый прогресс здесь начался в 1970 г., когда С. Крагман и его коллеги из Нью-Йоркского университета показали, что прогретая сыворотка от хронического носителя HBV может защищать чувствительных к вирусу индивидов от заражения. Позже рядом исследователей был продемонстрирован защитный эффект очищенных вирусных частиц, содержащих HBsAg, у шимпанзе. В 1976 г. Ф. Мопа и его коллеги из Университета в Туре сообщили о первых результатах вакцинации людей. Их вакцина состояла из дефектных вирусных частиц, которые представляли собой пустые оболочки с HBsAg, полученные из крови хронических носителей HBV и обработанные таким образом, чтобы избавиться от инфекционности. Впоследствии Мопа с коллегами доказал безопасность и эффективность этой вакцины для больших групп рецепиентов, включая детей из регионов, где HBV эндемичен, и лиц, относящихся к группам высокого риска заражения, из местностей, где этот вирус не является эндемичным. (Вакцина была менее эффективной для пациентов, подвергаемых диализу, — возможно, из-за ослабленности у них иммунной системы.)

Хотя вакцина, полученная из сыворотки, эффективна, ее практическое применение проблематично, поскольку затруднительно производство: от хронических носителей можно получить лишь малое количество сыворотки, а процедура очистки сложная и дорогая. Кроме того, каждую партию вакцины, полученную из нового объема сырья, необходимо проверять на шимпанзе, чтобы убедиться в ее безопасности. Поэтому идея получения вакцины методами генной инженерии была очень заманчивой.

ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ вакцин можно использовать несколько генноинженерных подходов, но на практике выбор был ограничен, так как HBsAg полностью иммуногенен только при сохранении его нативной структуры. Бактерии, несущие соответствующие гены, могли производить HBsAg, но он не принимал в них правильной формы или химической структуры и обладал лишь слабой иммуногенностью.

Зато клетки дрожжей и млекопитающих оказались способны к образованию полноценного HBsAg. Вакцины против HBV, полученные при помощи таких клеток, завоевали рынок. У. Раттер использовал для производства вакцины пекарские дрожжи (*Saccharomyces cerevisiae*). В 1984 г. М. Мишель в нашей лаборатории вывела линию клеток яичника китайского хомячка, которые производили антигены HBV. В клетки была введена рекомбинантная ДНК HBV, содержавшая ген *S* и область пре-*S* 2. В результате получались частицы, имеющие главный и средний белки оболочки, HBsAg и антигенные детерминанты, соответствующие области пре-*S* 2. Последнее обстоятельство весьма важно в свете данных Д. Милика из Скриппсовской клиники, который показал, что антигенная детерминанта области пре-*S* 2 вызывает более сильный иммунный ответ, чем HBsAg. Более того, линии мышей, не производящих антител против HBsAg, после иммунизации рекомбинантными частицами, полученными Мишель, приобретали способность к иммунному ответу на HBV. Это может пригодиться при вакцинации людей, нечувствительных к HBsAg.

Другой интересный подход с использованием рекомбинантных ДНК состоит в конструировании живых вакцин на основе вируса осповакцины или аденовирусов в качестве векторов. При помощи методов генной инженерии можно сделать так, что эти безвредные вирусы будут нести антигены HBV. Этот подход до сих пор не применялся в производстве вакцин для человека.

Можно также химически синтезировать последовательности аминокислот, копирующие антигенные детерминанты HBsAg. Этот подход позволяет получить дешевую вакцину против HBV. К сожалению, на сегодняшний день он непрактичен, поскольку иммуногенность таких искусственных белков очень мала.

Помимо производства вакцин технология рекомбинантных ДНК приближает к открытию лекарств для хронических носителей. В августе 1990 г. Р. Перилло из Вашингтонского университета и его коллеги сообщили, что ежедневный прием α-интерферона (этот белок, получаемый генноинженерным путем, усиливает иммунный ответ) полностью или частично избавил от инфекции HBV более трети из 85 хронических носителей. Дальнейшие исследования должны уточнить и усовершенствовать применение интерферона против HBV.

В последние десять лет все возрастающее понимание молекулярной биологии гепатита В нашло практическое применение в медицине, в основном для предотвращения инфекции. Многие возможности здесь еще только просматриваются. В развивающихся странах массовая вакцинация рекомбинантной вакциной — первой

вакциной для человека, полученной с помощью технологии рекомбинантных ДНК, — принесет успех в контроле гепатита В. Это даст двойной эффект: вакцинация может предотвратить не только острое поражение печени, но и сопутствующий рак. Можно надеяться, что, вооруженные генной инженерией, мы вступаем в эру лучшей медицинской помощи.

Наука и общество

Уроки истории

ПОЛИТИЧЕСКИЕ лидеры всегда стремятся вести нас к мирному будущему по пути, который «освещен» историей. А о чем в действительности свидетельствуют результаты тщательного анализа нашего прошлого в отношении того курса, по которому мы идем? Пессимист мог бы сказать, что наши политические лидеры совершенно неверно понимают историю и не руководствуются ею. Оптимист же мог бы с надеждой утверждать, что война в любом случае может быть исключена из арсенала политических средств, если, конечно, начавшийся во всем мире процесс демократизации не остановится.

Оба эти вывода подтверждаются результатами анализа, проведенного в рамках исследования факторов, предопределяющих войну, с использованием компьютеризованного информационного банка, содержащего сведения о 118 войнах (под которыми понимались вооруженные конфликты, приводившие к гибели не менее 1000 человек) и о более 1000 прочих столкновений начиная с первых лет XIX в. по настоящее время. Ученые Мичиганского университета создали этот банк данных в 70-е годы с тем, чтобы выявить статистические зависимости между военными действиями и различными экономическими, политическими и социальными факторами.

Как заявил Д. Сингер, политолог из Энн-Арбора, руководивший упомянутым проектом, полученные данные никак не подтверждают справедливости пресловутой формулы: «сила — залог мира». Наращивание военной мощи никак не содействует сдерживанию войны, а является одной из самых распространенных предпосылок, ведущих к ее развязыванию. Полученные результаты, указывает Сингер, лишь в самой незначительной степени дают основание полагать, что такие действия, как поставка Соединенными Штатами оружия в регионы с нестабильной обстановкой (в страны Ближнего Востока, например), являются причиной серьезных столкновений.

Нет никаких оснований и для того, чтобы можно было считать, будто наличие союзников помогает сохранить мир. По словам Сингера, участие того или иного государства в одном или нескольких союзах повышает риск его вовлечения в войну, и в первую очередь против его же союзников. Исторические факты заставляют даже сомневаться в таком аргументе (который США использовали для оправдания недавней войны против Ирака и прошлой войны во Вьетнаме), что если допустить беспрепятственное развитие агрессии, то она обязательно приведет к еще большей агрессии. Хотя война, развязанная Гитлером в Европе, полностью опровергла это положение, данные, полученные в результате проведенного исследования, как утверждает Сингер, указывают на слабую связь между возникновением войны в указанном регионе и предшествующей ей ничем не сдерживаемой агрессией.

Несколько более обнадеживающий вывод заключается в том, что демократические страны, хотя они часто ведут войну с недемократическими государствами, в редких случаях выступают против стран с демократическим режимом правления. На это явление, которое наблюдается практически без каких-либо исключений с 1815 г. среди государств преимущественно с однородным национальным составом, указывали еще в 1976 г. Сингер и М. Смолл, историк из Университета Уэйна в Детройте (шт. Мичиган).

С тех пор вывод о том, что сам по себе демократический строй может гарантировать мирные взаимоотношения, подвергался сомнению как другими исследователями, так и самим Сингером. Они отмечали, например, что в демократических странах жизненный уровень, как правило, выше, чем в странах с недемократическим строем, и что до второй мировой войны демократических государств было уже немало, а после войны многие из них вошли в союз с США. Отсутствие военных столкновений между демократическими странами, по мнению многих, можно объяснить скорее действием именно этих факторов, а не какими-то специфическими чертами, свойственными демократии.

Однако, в результате исследования, проведенного осенью прошлого года политологами Зеевом Маозом из Университета Халифы в Израиле и Брюсом Рассетом из Йельского университета, были выявлены случаи военных столкновений между государствами, которые отвечали всем другим условиям, но не было случаев, чтобы оба государства были демократическими. Представляется, что демократический строй, заключают ученые, все же является тем ключевым признаком, который обеспечивает сохранение мира.

Как показали результаты анализа, проведенного Рассетом и антропологами К. и М. Эмбер, эффект отсутствия военных конфликтов также имеет место среди племен и других менее развитых сообществ, не имеющих иерархического социального устройства. Упомянутые антропологи проводят исследование межчеловеческих отношений в рамках долгосрочной программы изучения военных конфликтов среди сообществ, которые не слились в многонациональное образование.

О чем говорят эти результаты? Рассет и супруги Эмбер в опубликованной ими статье указывают, что «когда люди учатся как нужно соглашаться, чтобы сохранить несогласие, и держат под контролем политический процесс, они усваивают, что конфликты можно разрешить мирным путем по крайней мере с теми, кто разделяет аналогичные взгляды на политический процесс».

Распространение демократии, наблюдающееся в течение последнего десятилетия, хотя и развивающееся неплавно и без гарантии на устойчивость, позволяет надеяться, как считает Рассет, на полное исключение войн в мире. Растущая экономическая независимость государств, указывает, в частности, Рассет, должна порождать дополнительный стимул к мирному сосуществованию. Одновременно он делает весьма существенное предостережение: процесс демократизации может привести к взрыву национализма и этническим конфликтам в тех государствах, где эти явления в течение долгого времени сдерживались силой; это особенно относится к странам Восточной Европы, а также к тем развивающимся странам, где наблюдается нестабильность политической обстановки.

Рассет также предупреждает, что крупные демократические государства, такие, как США, не должны использовать результаты его исследований для оправдания насильственного «освобождения» народов, которые, по мнению этих государств, развиваются недемократическим путем. Одним из самых серьезных уроков истории, отмечает Рассет, является то, что война часто приносит не мир, а хаос, который ведет к новым войнам.

Фотохромные и светочувствительные стекла

В отличие от обычного стекла фотохромные и светочувствительные стекла на облучение их светом реагируют изменением структуры, что находит применение в электронике, оптике и декоративном искусстве

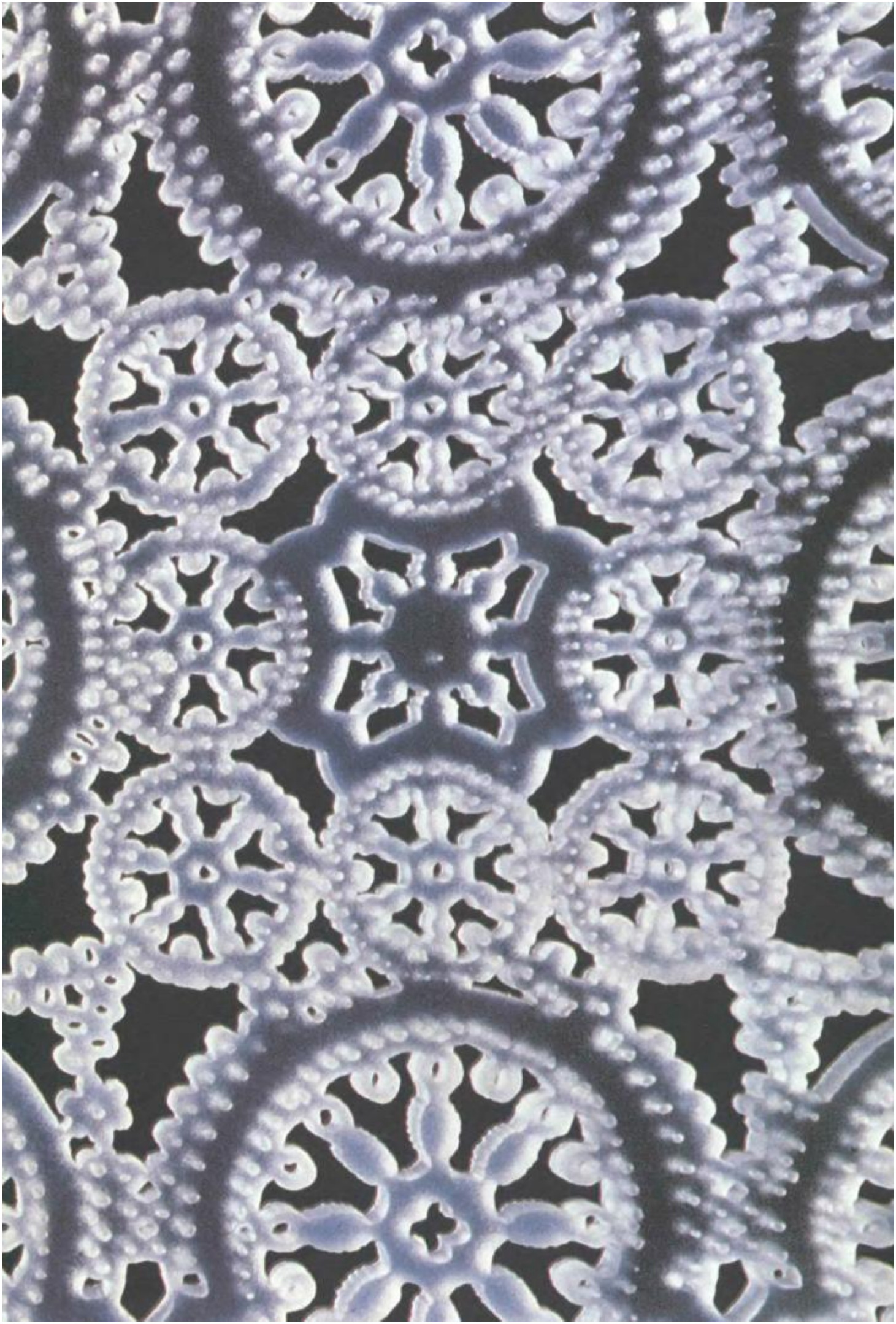
ДОНАЛЬД М. ТРОТТЕР-МЛАДШИЙ

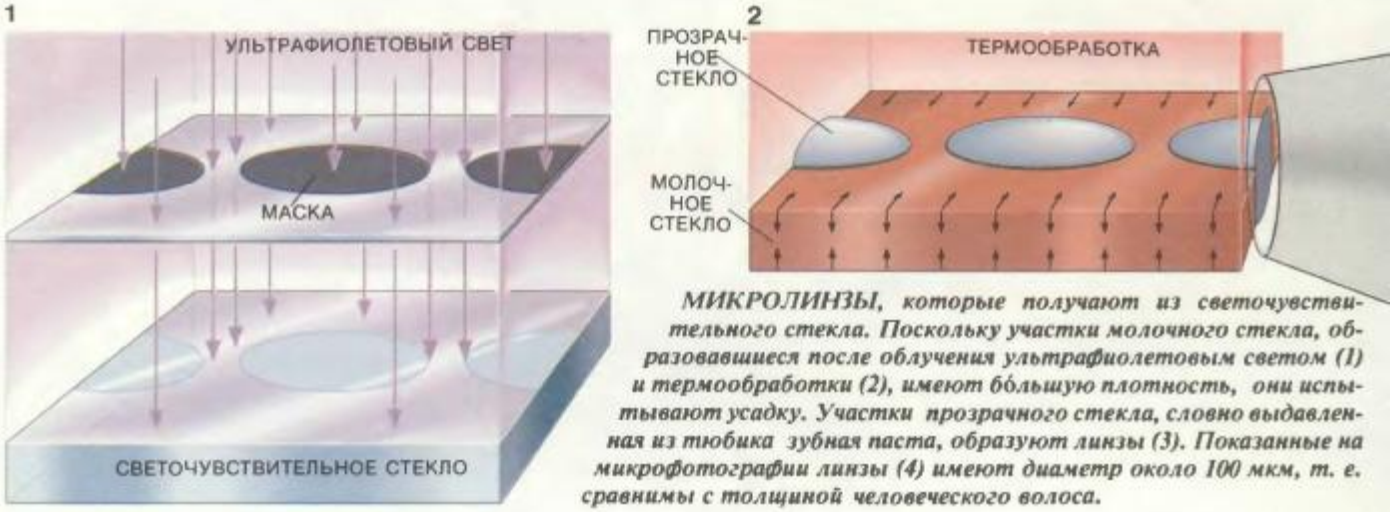
СНАЧАЛА второго тысячелетия до нашей эры практически каждая цивилизация, раскрывавшая секрет получения стекла, использовала его для изготовления сосудов, украшений и скульптурных изображений. Основным свойством стекла, отличающим его от глины, конечно же, является прозрачность. Свет проходит сквозь стекло, фактически не испытывая изменений. В свою очередь прохождение света сквозь стекло не сказывается на самом стекле. Однако существует малоизвестная группа стекол, которые действительно реагируют на свет и при освещении могут претерпевать полезные изменения. Эти изменения дают изготовителям возможность создавать различные приборы — от очков с темнеющими на улице стеклами до элементов головок магнитных запоминающих устройств. В ходе исследований обнаружились такие прикладные возможности, как изготовление темнеющих при избытке солнечного освещения окон зданий, очков для исправления некоторых нарушений зрения и соединителей для интегральных схем. Такие возможности применения стекол вряд ли можно было предвидеть четыре тысячи лет назад.

Реагирующие на свет стекла делятся на две группы. Фотохромные стекла временно изменяют цвет при облучении слишком сильным светом. В светочувствительных стеклах формируется невидимое глазу «скрытое изображение»; последующая термическая обработка «проявляет» это изображение, характеризующееся устойчивыми изменениями структуры или цвета или того и другого.

Химические процессы получения указанных стекол предоставляют возможность изготавливать на заказ чрезвычайно сложные детали промышленного назначения с эффективностью массового производства. Благодаря применению для обработки стекол химических методов обеспечиваются допуски на размеры, которые превосходят по точности соответствующие допуски деталей, подвергаемых механической резке и сверлению, причем предоставляется возможность формирования настолько малых отверстий, что в них не проходит человеческий волос. Кроме того, фотохромные и светочувствительные стекла характеризуются стабильностью, химической инертностью, непроницаемостью, прочностью и электроизоляционными свойствами и об-

***ОРНАМЕНТ ИЗ СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО СТЕКЛА**, показанный здесь с четырехкратным увеличением, получается при облучении ультрафиолетовым светом незакрытых участков. После термообработки эти участки становятся мутными. Они вытравливаются плавиковой кислотой. Кислота травит также и необлученное стекло, формируя на нем «морозные» узоры.*



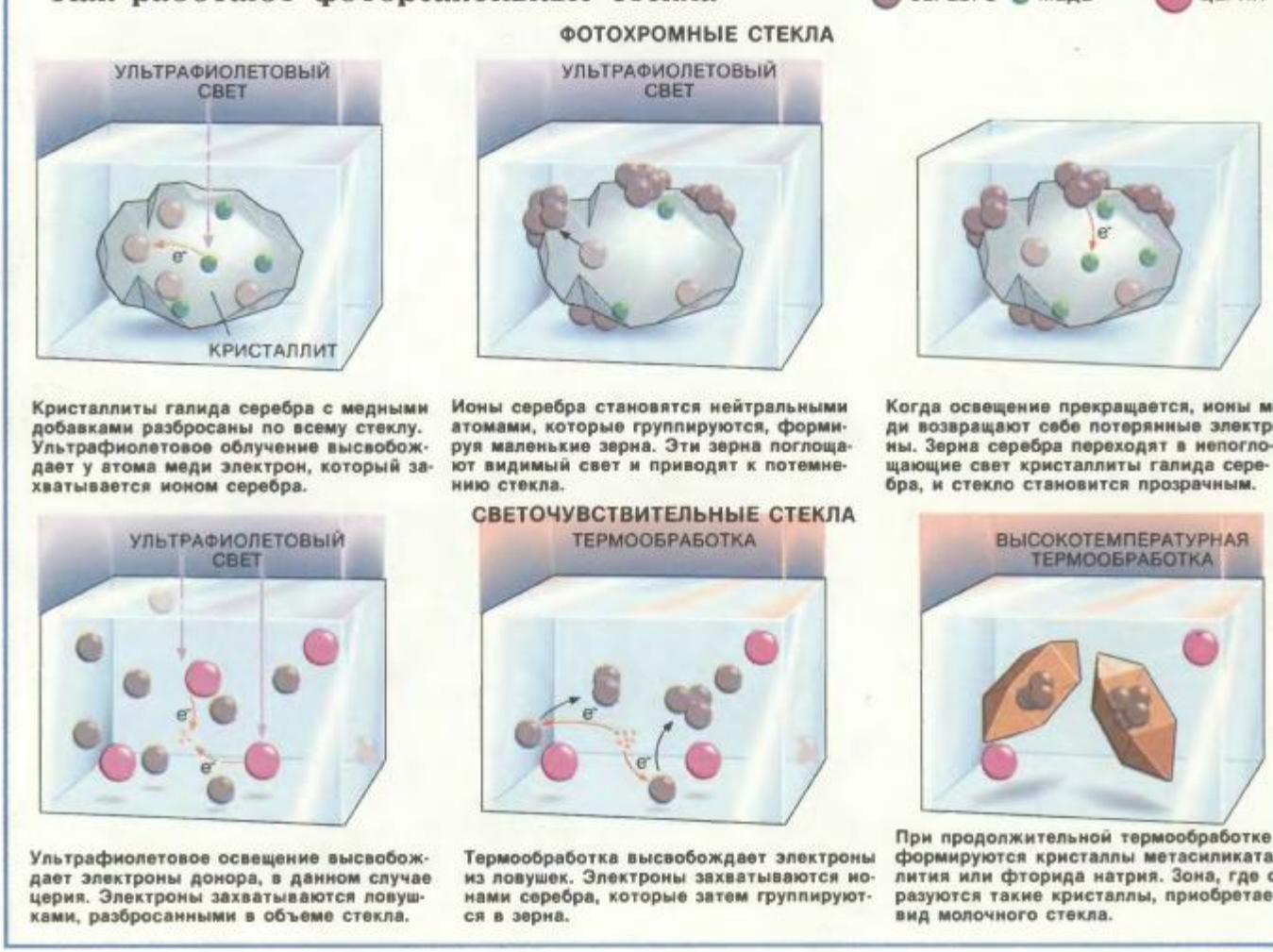


МИКРОЛИНЗЫ, *которые получают из светочувствительного стекла. Поскольку участки молочного стекла, образовавшиеся после облучения ультрафиолетовым светом (1) и термообработки (2), имеют бóльшую плотность, они испытывают усадку. Участки прозрачного стекла, словно выдавленная из тюбика зубная паста, образуют линзы (3). Показанные на микрофотографии линзы (4) имеют диаметр около 100 мкм, т. е. сравнимы с толщиной человеческого волоса.*

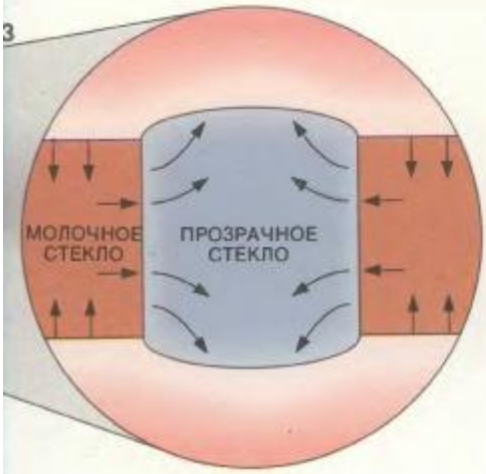
ладают конструкционными характеристиками, превосходящими аналогичные характеристики пластмасс и металлов.

В настоящее время ученые и инженеры экспериментируют со свойствами стекол, стремясь найти пути улучшения их характеристик и расширить коммерческие применения. Эти исследования проводятся на основе принципиальных положений, впервые открытых и описанных в 1940-х годах. В одной из самых первых работ С. Стуки с другими учеными из фирмы Corning Glass Works (ныне Corning, Inc.) из Корнинга (шт. Нью-Йорк) брали обычное стекло и пробовали добавлять в него другие химические компоненты. Стуки и его коллеги создали семейства стекол, реагирующих на свет изменением цвета или формированием скрытого изображения. Стуки разработал настолько удачный базовый химический про-

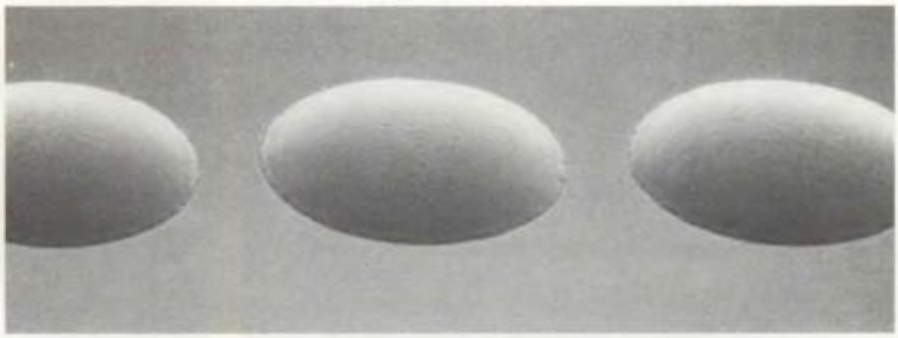
Как работают фотореактивные стекла



3



4



цесс, что им продолжают пользоваться и по сей день.

Как и у многих обычных стекол, главной составной частью фотохромных и светочувствительных стекол является диоксид кремния, основной компонент обычного песка. Однако с диоксидом кремния очень сложно работать. Он характеризуется высокой температурой плавления (свыше 1600 °С) и чрезвычайно высокой вязкостью. Для понижения температуры плавления и получения более текучего расплава в смесь добавляют щелочь и оксиды щелочноземельных металлов. За счет добавок оксидов алюминия, бора, титана и других металлов изменяются такие свойства, как показатель преломления, стойкость к климатическим воздействиям и прочность. Упомянутые оксиды оказывают влияние на порядок расположения молекул в стекле.

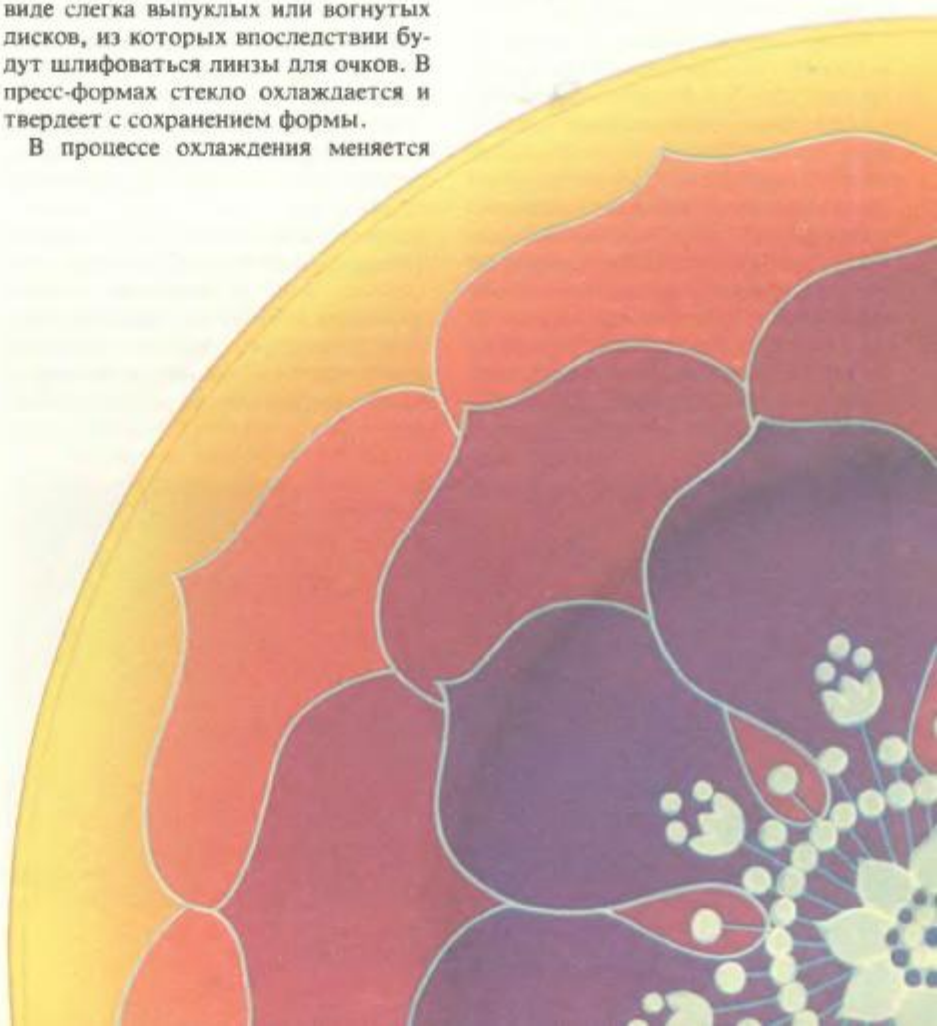
Чтобы исходное стекло приобрело фотохромные или светочувствительные свойства, к нему подмешивают небольшое количество компонентов. В добавках происходят реакции или они выкристаллизовываются при освещении и нагревании. Свойства получаемых в итоге фотохромных или светочувствительных стекол зависят от исходного стекла в том, что оно влияет на размеры и состав выкристаллизовывающихся частиц или на скорость реакций.

Для изготовления фотохромного стекла берется исходная смесь, в которой содержится сравнительно большое количество оксида бора. Серебро и медь добавляют в виде нитратов или хлоридов. Добавляют также галиды металлов — соединения, содержащие металл и галоген, например, фтор, хлор, бром или иод.

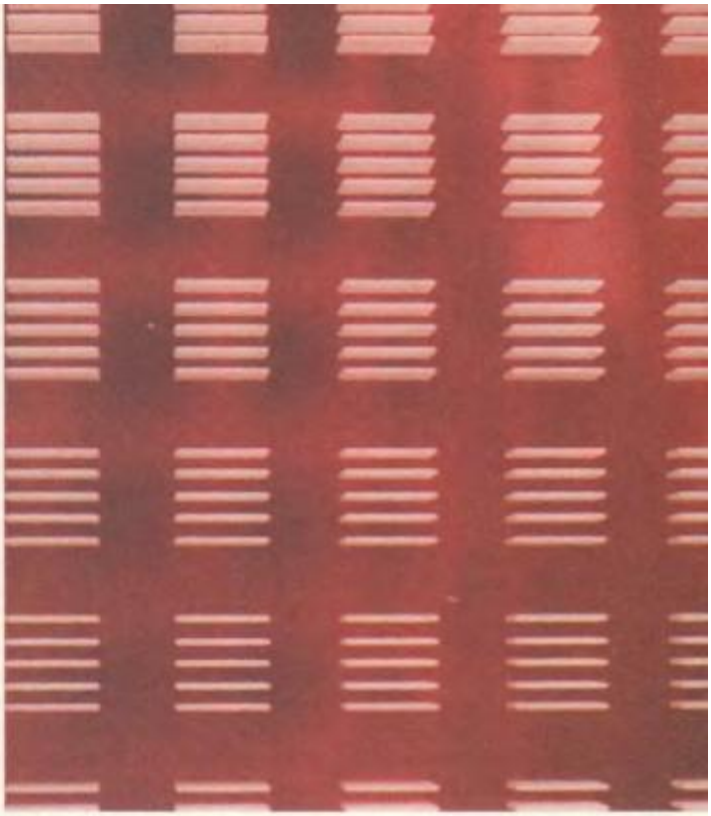
Смесь нагревается до температуры примерно 1200 °С, при которой она расплавляется в однородную текучую массу, по консистенции напоминающую густой сироп. После этого расплав разливается по формам, в которых жидкость прессуется в виде заготовок различной формы, например, в виде слегка выпуклых или вогнутых дисков, из которых впоследствии будут шлифоваться линзы для очков. В пресс-формах стекло охлаждается и твердеет с сохранением формы.

В процессе охлаждения меняется характер включения бора в структуру исходного стекла. Галогены, растворенные в стекле при температуре размягчения, становятся существенно менее растворимыми. Они выделяются из раствора и вступают в реакции с серебром и медью. Реакция сопровождается образованием кристаллитов галидов серебра, содержащих небольшое количество галидов меди.

Хотя образование кристаллитов и может в принципе происходить при комнатной температуре, диффузия в затвердевшем стекле протекает настолько медленно, что пройдет много тысяч лет, прежде чем сформируются какие-либо кристаллиты. Обычно образование кристаллитов ускоряется путем нагревания стекла до температуры, несколько меньшей



СТОЛОВАЯ ТАРЕЛКА, изготовленная из светочувствительного стекла. Облучение ультрафиолетовым светом и нагревание привели к образованию игольчатых зерен серебра, которые выросли на выделившихся кристаллах фторида и бромида натрия. Иголки серебра поглощают в узкой полосе длин волн видимого спектра, придавая стеклу определенный цвет. Варьируя экспозицией, можно менять количество осаждаемого серебра и размеры иголок, вследствие чего тарелка приобретает различные цвета.



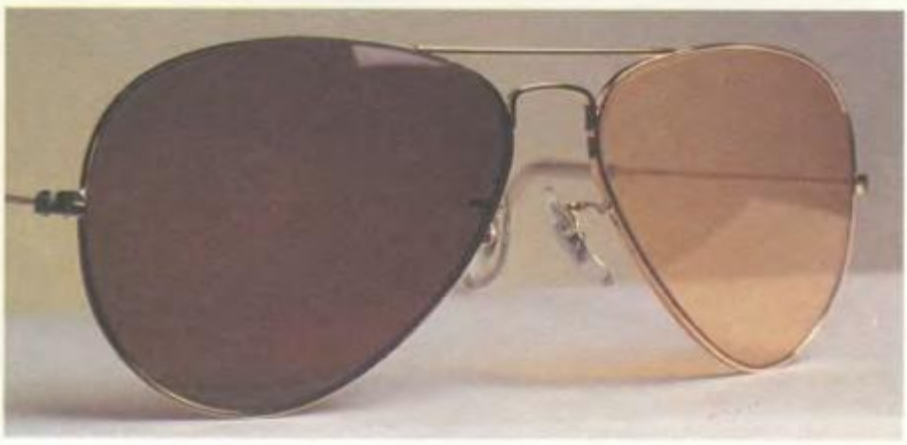
***ПРИМЕНЕНИЯ**, которые находят светочувствительные стекла, весьма разнообразны. Благодаря возможности окрашивания в различные цвета такие стекла часто используются для изготовления посуды, праздничных украшений и художественного стекла* (слева). *В качестве архитектурных элементов, регулирующих освещенность, предлагаются жалюзи толщиной примерно 3,2 мм* (в центре слева), *«встроенные» в стекло посредст-*

температуры размягчения, обычно около 600 °С, в течение приблизительно 30 мин.

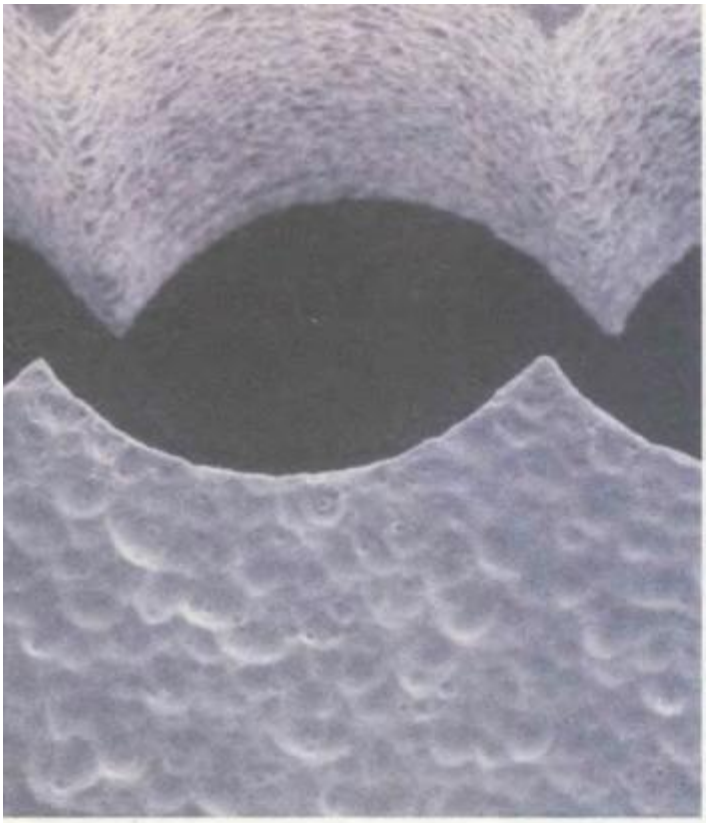
Кристаллиты диаметром около 100 ангстрем (Å) слишком малы и прозрачны, для того чтобы рассеивать или поглощать видимый свет, длины волн которого находятся в диапазоне от 4000 до 7000 Å. Стекло остается совершенно прозрачным и бесцветным. Однако кристаллиты не сохраняют прозрачность для меньших длин волн и поглощают ультрафиолетовое излучение, присутствующее в солнечном спектре. При облучении таким светом некоторые ионы серебра, положительно заряженные и связанные ионной связью с отрицательными ионами галогена, захватывают электрон у иона меди и становятся нейтральными атомами.

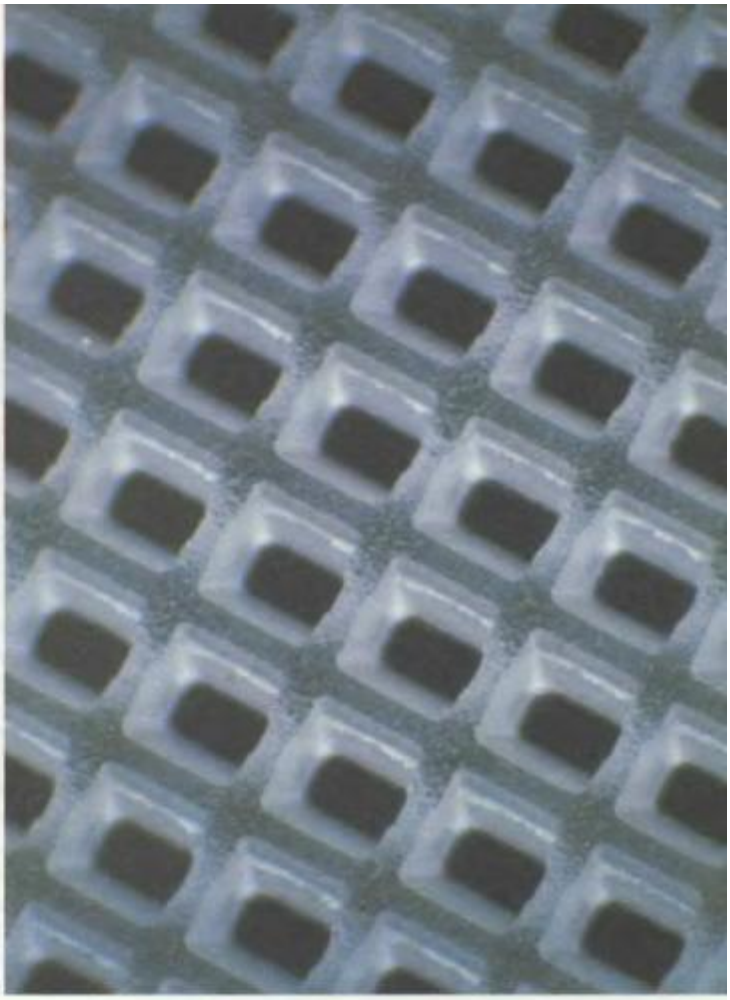
От сотен до тысяч нейтральных атомов серебра группируются вместе, образуя мельчайшие зерна металлического серебра. И хотя эти зерна серебра слишком малы, чтобы рассеивать видимый свет, они способны поглощать его. Конкретное значение длины поглощаемой волны определяется размерами зерна. Поскольку имеет место образование зерен разных размеров и форм, свет всех длин волн поглощается одинаково. Следовательно, стекло темнеет и приобретает серый цвет. При ослаблении освещения ионы меди возвращают себе потерянные ими электроны. Зерна металлического серебра претерпевают обратное преобразование в галид серебра, и стекло быстро блекнет, возвращаясь в исходное бесцветное состояние. Поскольку описанный процесс не связан с какими-либо потерями для кристаллитов, стекло может темнеть и обесцвечиваться много тысяч раз без ухудшения свойств.

Совершенствование в 1970-х годах характеристик, определяющих скорость потемнения и просветления, привело к созданию коммерческих изделий, главным образом солнцезащитных очков. Последнее достижение связано с водородным обжигом стекла. Такой обжиг формирует стабильно сохраняющиеся зерна серебра, которые и придают стеклам насыщенный цвет. Цвет определяется продолжительностью и температу-



***ФОТОХРОМНОЕ СТЕКЛО** в основном применяется для изготовления очков, темнеющих вне помещения. На рисунке лишь одна из линз облучена ультрафиолетовым светом.*





вом добавки фторида натрия. И все же намного чаще стекла применяются для получения стекло-керамических каналов диаметром 0,38 мм с допуском 0,01 мм, которые направляют иголки матричных принтеров **(в центре справа),** ***и для получения ячеистых экранов, способствующих разделению световых точек в газоразрядных дисплеях*** **(справа).**

рой обжига. Изготовленные таким методом линзы некоторых очков способны свести до минимума цветовые искажения в дневное время при сохранении возможности видеть ночью. Другие линзы обладают такими спектральными характеристиками, которые повышают комфортность и остроту зрения больных пигментным ретинитом (пигментной дегенерацией сетчатки), а также некоторыми другими заболеваниями органов зрения, вызывающими светобоязнь.

Исследователи изучают также вопрос использования фотохромных стекол в архитектуре и в производстве стекол для автомобилей, хотя здесь существуют определенные сложности. Например, особенностью стекол является чувствительность к температуре окружающей среды. В холодные дни фотохромные окна темнеют сильнее, чем в теплые дни, вследствие чего условия освещенности внутри помещения окажутся неодинаковыми.

В ОТЛИЧИЕ от фотохромных стекол светочувствительные стекла изменяют свои свойства раз и навсегда. Здесь также фотохимические эффекты обусловлены наличием ионов серебра. Но в светочувствительных стеклах вместо меди в качестве донора электронов для серебра обычно применяют церий, хотя эту же функцию теоретически могут выполнять и некоторые другие элементы. При освещении стекла ультрафиолетовыми лучами некоторые ионы церия высвобождают электроны. Эти электроны захватываются в «ловушки» в определенных участках стекла, формируя скрытое изображение.

Исследователи пока не выяснили природу ловушек, которые, судя по всему, распределены во всем объеме стекла. Ловушки образуются также и в фотохромных стеклах, но в отличие от ловушек в светочувствительных стеклах, в фотохромных стеклах ловушки менее активно захватывают электроны, чем ионы серебра в кристаллитах.

Поэтому для высвобождения электронов из ловушек светочувствительные стекла необходимо подвергать термической обработке; тогда электроны могут соединяться с положительными ионами серебра, находящимися в стекле. Кроме того, нагревание позволяет образующимся в результате нейтральным атомам серебра группироваться. Мельчайшие скопления атомов металла выполняют роль зародышей, на которых из стекла осаждаются кристаллы. Эти кристаллы образуются из компонент самого стекла, таких как метасиликат лития, или из примесей, таких как фторид натрия. Когда образуется достаточно большое количество сравнительно крупных кристаллов, стекло становится полупрозрачным или очень мутным, так называемым «молочным стеклом». Затененные участки сохраняют прозрачность и свойственную стеклу однородность.

Светочувствительные стекла стали более чем просто новым фотографическим материалом, как о них писали сразу после их открытия. В 1980-х годах Р. Боррели и Д. Морс из фирмы Corning показали, что вышеуказанный химический процесс можно использовать для производства микролинз. Содержащее метасиликат лития молочное стекло испытывает усадку и становится более плотным, чем стекло, из которого оно получено. Процесс осуществляется, когда стекло нагревается до температуры размягчения; поверхность стекла деформируется таким образом, что границы между молочными и прозрачными участками получаются плавными. Тщательно подбирая температуру и экспозицию ультрафиолетовым излучением, изготовители могут регулировать деформацию и, следовательно, оптическую силу линз.

В 1984 г. Д. Смит и автор настоящей статьи показали, что различие свойств молочного и прозрачного стекла позволяет непосредственно на стекле формировать электрические цепи. При погружении образца с созданной на нем структурой из молочного стекла в ванну с расплавом соли, содержащей ионы серебра, и нагревании образца в водородной атмосфере, на поверхности участков молочного стекла создается проводящая серебряная пленка. Пленка, образующаяся на поверхности участков прозрачного стекла, остается неэлектропроводной. Данное явление еще предстоит использовать в коммерческих целях, например для формирования межсоединений интегральных схем.

Кроме того, светочувствительные стекла способны формировать содержащие большое число деталей сложные картины, которые применяются не только как украшения, но и в качестве прокладок в трубках фотоэлектронных умножителей, ячеистых экранов в газоразрядных дисплеях, а также зарядных пластинок и форсунок в струйных печатающих устройствах. Из-за того, что содержащее метасиликат лития молочное стекло намного лучше растворяется в кислоте, чем стекло, из которого оно образуется, погружение образца в ванну со слабым раствором плавиковой кислоты приведет к вытравливанию участков молочного стекла. В результате от образца остается необлученная часть сложной формы, обладающая высокой точностью размеров.

Метасиликат лития является не единственной добавкой, используемой для изготовления светочувствительных стекол. Если при изготовлении смешать фторид натрия с бромидом натрия, то можно получить в объеме стекла насыщенные красивые цвета из всего видимого спектра.

Начальная термическая обработка вызывает формирование кристаллов фторида натрия на зародышах серебра. Слившиеся кристаллы выполняют роль исходных форм, из которых при продолжительной термообработке вырастают пирамидальные кристаллиты бромида натрия. Получающиеся в результате кристаллы, однако, настолько малы и редко разбросаны, что стекло не становится молочным, а сохраняет прозрачность и однородность. Повторная, более жесткая ультрафиолетовая экспозиция с последующей повторной термической обработкой освобождает дополнительное количество серебра. Это серебро выкристаллизовывается на вершинах пирамидальных кристаллитов бромида натрия в виде удлиненных, игольчатых зерен, которые достаточно крупны, чтобы поглощать видимый свет. Все «иголки» имеют одинаковые размеры и форму, поэтому поглощают в одной и той же довольно узкой полосе длин волн, придавая стеклу яркий цвет. Варьируя интенсивностью ультрафиолетового облучения, можно менять размеры игольчатых зерен серебра, в результате чего в объеме стекла будут присутствовать различные цвета. Такого рода светочувствительные стекла применяют при изготовлении цветных светофильтров, посуды и художественного стекла.

Благодаря своей непроницаемости, прочности, химической инертности, огнеупорности и электроизоляционным свойствам фотохромные и светочувствительные стекла являются уникальными материалами, позволившими за небольшой срок со времени их создания решить множество технических проблем.

Наука и общество

В поисках неизвестного

Гертруда Стейн однажды, характеризуя г. Окленд (шт. Калифорния), сказала: «Там нет этого "там"». С таким же успехом она могла бы сказать это о нейтрино. В конце концов трудно представить себе что-либо, чего нет там в большей степени, чем нейтрино — частицы, не имеющей электрического заряда, с малой массой или вообще безмассовой и почти не взаимодействующей с обычным веществом.

Тем не менее нейтрино вызвали значительный научный интерес, поскольку они очень распространены во Вселенной и свободно движутся от центра Солнца, где происходят ядерные реакции, которые в конечном счете поддерживают жизнь на Земле. Они могут даже «распахнуть окно», через которое станет возможным распознать истинную природу четырех фундаментальных взаимодействий. Однако недавние исследования только подчеркнули, как далеки ученые от полного понимания законов, которым подчиняются нейтрино и остальные субатомные частицы.

Эта история началась в 1968 г., когда первый детектор солнечных нейтрино стал работать в золотоносной шахте Хоумстейк (шт. Южная Дакота). Вскоре возникла трудноразрешимая проблема: поток нейтрино от Солнца оказался меньше 1/3 ожидаемой величины. Данные измерений в Хоумстейке поставили под сомнение общепринятое понимание законов физики, современные модели Солнца или и то и другое.

Второй детектор в японском эксперименте Kamiokande II присоединился к охоте на нейтрино в 1987 г. и только усугубил ситуацию. Этот детектор чувствителен к более энергичным солнечным нейтрино, энергия которых превышает примерно 5 млн. электронвольт (эВ), и обнаружил около половины ожидаемого потока, что подтверждает существующий дефицит нейтрино.

К сожалению, и детектор в Хоумстейке, и Kamiokande II «слепы» для относительно низкоэнергичных нейтрино, рождаемых в реакциях слияния двух протонов. Это первое звено в цепочке ядерных реакций, которые, как полагают, обеспечивают энергию Солнца. Дефицит этих «протон-протонных» нейтрино мог бы послужить намного более четким сигналом о том, что что-то неладно с современными научными представлениями.

На поиск этих низкоэнергичных частиц направлены два новых проекта: советско-американский галлиевый эксперимент SAGE, проводимый на Баксанской нейтринной обсерватории в горах Северного Кавказа (СССР), и эксперимент Gallex в Италии*. В обоих экспериментах используются детекторы на основе металлического галлия, чувствительные к нейтрино с энергией выше 0,23 млн. эВ. Детектор Gallex в настоящее время пока не работает, так как физики стараются устранить накопившиеся в нем загрязнения.

На детекторе SAGE отладочный период завершился и получены первые результаты. М. Черри из Университета шт. Луизиана, участник этого проекта, предостерегает, что пределы ошибок очень велики, поэтому необходимо время для калибровки детектора и улучшения методики анализа результатов. Несмотря на это, первые результаты удивили. За пять месяцев наблюдений SAGE зарегистрировал только фоновый шум и никакого следа солнечных нейтрино.

---

* См. статью: Джон Н. Бакал. Проблема солнечных нейтрино, «В мире науки», 1990, № 7, с. 16. — *Прим. ред.*

Даже те нейтрино, которые выявились, могут вести себя странным и неожиданным образом. Некоторые исследователи, среди них К. Ланде из Пенсильванского университета, нашли объяснение вариациям данных эксперимента в Хоумстейке: поток солнечных нейтрино, вероятно, уменьшается во время высокой солнечной активности. Л. Краус из Йельского университета также находит указания на корреляцию между потоком нейтрино и солнечными акустическими осцилляциями. Может быть, физические условия (напряженность магнитного поля или, возможно, температура и плотность), которые изменяются во время цикла солнечных пятен, воздействуют и на тот механизм, который прячет бо́льшую часть солнечных нейтрино.

И снова то, что похоже на что-то, может вовсе быть ничем. Число солнечных пятен временами отражало цены на биржах и число проданных альбомов группы «Битлз». Дж. Бакал из Института высших исследований в Принстоне (шт. Нью-Джерси), стойкий приверженец охоты на нейтрино, считает, что различные корреляции с потоком нейтрино столь же сомнительны.

Бакал отмечает, что вариации не проявляются в данных эксперимента Kamiokande и эксперимента в Хоумстейке за первые семь лет. Но самое главное, он не видит правдоподобного объяснения механизма, который мог бы обусловливать такие вариации.

Все согласны в одном: основная проблема — потерянные солнечные нейтрино — реальна. Наиболее популярным объяснением дефицита солнечных нейтрино является эффект Михеева—Смирнова—Вольфенштейна (МСВ). В этой небольшой модификации новейших физических теорий, так называемых теорий великого объединения, предполагается, что при определенных условиях нейтрино, которые связаны с обычным веществом (электронные нейтрино), могут превращаться в своих еще более ускользающих двоюродных братьев — мюонные и тау-нейтрино*.

Годы исследований убедили большинство физиков в том, что масса электронного нейтрино неизмеримо мала. Однако естественным следствием МСВ-эффекта является то, что по крайней мере один тип нейтрино должен иметь ненулевую массу. Эта возможность вызвала большой интерес у многих космологов, поскольку нейтрино могли бы обеспечить основную часть «темного» вещества во Вселенной, предсказываемого в космологических теориях, но ненаблюдаемого.

«Взвешивание» нейтрино связано с некоторыми практическими трудностями, поэтому физики обратились к теоретическим моделям. Результаты экспериментов в Хоумстейке и Kamiokande указывают на то, что дефицит нейтрино увеличивается при низких энергиях. Отсюда Бакал и Х. Бете из Корнеллского университета заключили, что если электронное нейтрино по существу безмассово — это наиболее простое предположение, — то у мюонного нейтрино должна быть крошечная масса, около 0,001 эВ. Для сравнения: масса электрона — самой легкой из известных в настоящее время частиц — составляет 511 тыс. эВ.

Такое легкое нейтрино не может удовлетворить космологов, ищущих «скрытую» массу. Однако они могут обратиться к третьему типу нейтрино, тау-нейтрино. Ланде считает, что можно провести экстраполяцию на основе оценки Бакала и Бете и для массы тау-нейтрино получить величину 1—2 эВ.

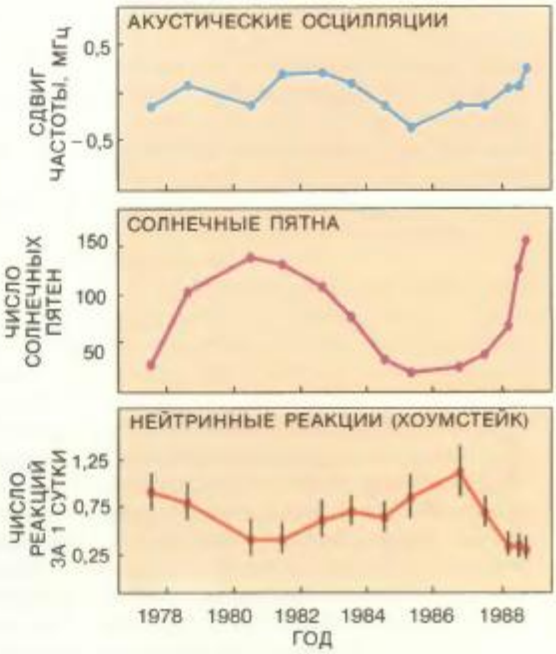
Возможны также величины, более подходящие для космологов. Д. Шама из Международного центра теоретической физики в Триесте недавно предложил довольно хорошую схему для разрешения как проблемы солнечных нейтрино, так и проблемы скрытой массы. В его сценарии наиболее тяжелое нейтрино имеет массу около 29 эВ и может в принципе распадаться, излучая при этом вспышку ультрафиолетового света. Однако А. Дейвидсен из Университета Джонса Гопкинса сообщает, что в эксперименте, проведенном на борту космического корабля «Астро-1», не обнаружено характерное излучение, связанное с такими распадами нейтрино.

Все же, возможно, нейтрино не настолько легковесные. Особенно удивительны недавние сообщения о нейтрино с массой 17 тыс. эВ, основанные на изучении бета-распада, в котором радиоактивный атом излучает электрон и нейтрино.

В 1985 г. Дж. Симпсон из Университета в Гуэлфе (Канада) обнаружил, что в течение какого-то времени электроны кажутся менее энергичными, чем предсказывает теория. Он пришел к заключению, что недостающая энергия уносится в виде массы нейтрино. Э. Норман и его сотрудники из Лаборатории им. Лоуренса в Беркли недавно обнаружили подобный эффект при распаде атома углерода-14, который они связывают также с тяжелым нейтрино, наиболее вероятно с тау-нейтрино.

Бакал считает появление этого массивного нейтрино «серьезным предметом рассмотрения». В бета-распаде может излучаться тау-нейтрино, только если нарушается закон сохранения, согласно которому излучение электрона всегда должно сопровождаться электронным нейтрино. Космологи вдруг получили бы слишком много массы, если только нейтрино не являются нестабильными и не распадаются за несколько миллионов лет. А для физиков существование тяжелого нейтрино разрушает надежды на создание согласованной картины масс субатомных частиц.

Норман и другие исследователи собирают дополнительные данные и изучают распад разных радиоактивных изотопов, чтобы определить, насколько реально существование такого тяжелого нейтрино.



АКУСТИЧЕСКИЕ ОСЦИЛЛЯЦИИ и число солнечных пятен на Солнце, вероятно, изменяются обратно пропорционально измеренному потоку нейтрино в зависимости от интерпретации данных экспериментатором.

* В большинстве теорий великого объединения, которые активно развиваются с середины 70-х годов, действительно предсказываются небольшие массы нейтрино, однако сам МСВ-эффект связан с изменением свойств нейтрино в веществе и не зависит от конкретного механизма генерации масс.— *Прим. перев.*

Как бегали динозавры

Были ли гиганты мезозойской эры неповоротливыми созданиями или огромными бегающими машинами? Ответ на этот вопрос можно получить, обратившись к методам современной физики и техники

Р. МАКНЕЙЛЛ АЛЕКСАНДЕР

СЛОНЫ не могут скакать как газели, поскольку слишком велики для этого. Попробуйте представить, как передвигались динозавры, которые были гораздо массивнее любого слона. Возможно, их ноги были слишком слабыми, чтобы выдерживать их громадный вес, поэтому они жили в озерах и зависели от воды, которая поддерживала их массивные тела, как это видно на некоторых старых картинках. А может быть, их конечности были достаточно сильны и они могли ходить и бегать как слоны или даже как более грациозные современные животные, несмотря на свои размеры?

Поскольку динозавры вымерли, у нас нет возможности наблюдать их и мы ничего не сможем сказать об их двигательных способностях, но весьма убедительные ответы могут быть получены, если воспользоваться методами, заимствованными из физики и техники. Познакомившись с искусством кораблестроения, изучая силы и напряжения в конструкциях и скелетах и наблюдая за дикими животными, мы можем понять законы физики, которым подчинялось движение динозавров.

Чтобы описать подвижность динозавров, мы можем совместить этот «механический» подход с тем, что нам известно по ископаемым остаткам, включая кости и следы, оставленные этими гигантскими животными. Мы узнаем, мог ли трицератопс (*Triceratops*) — рогатый четвероногий ящер — скакать галопом или только медленно «шаркать» ногами и мог ли тираннозавр (*Tyrannosaurus*) — царь среди двуногих хищников — маневрировать при беге и догонять свою потенциальную жертву — трицератопса?

МЫ ЗНАКОМЫ с динозаврами главным образом по остаткам их скелетов, по которым мы можем измерить их высоту и длину. Но из этой информации нельзя извлечь вес, который носили эти скелеты, в частности конечности. Измерение длин и высот динозавров также мало помогает при сравнении ящеров различных видов. К сожалению, мы не располагаем наиболее широко используемым параметром размера — массой тела.

Бóльшую часть массы живых динозавров составляли кожа, мышцы и органы пищеварения (все это разложилось очень давно), и теперь масса их тела может быть оценена лишь приблизительно. Расчеты могут быть сделаны при измерении масштабных моделей динозавров — подходящую пластмассовую модель можно купить в любом музее.

Воспользовавшись законом Архимеда (погружая модель в воду и измеряя количество вытесненной воды), мы можем определить объем пластмассового динозавра. Это измерение затем может быть приведено в соответствие с приблизительными объемами реальных существ. Большинство моделей изготовлено в 1/40 натуральной величины, следовательно, чтобы получить объем реального динозавра, объем модели надо умножить на $40 \times 40 \times 40$ (длина × высота × толщина), т. е. на 64 000. Затем, умножив полученную величину на 1000 кг/м^3 (на плотность воды, примерно равную плотности крокодилов и млекопитающих), получим приблизительную массу динозавра.

Эти расчеты говорят о том, что тираннозавр — наиболее крупный из известных плотоядных динозавров — весил более 7 тонн. Его вес в 10 раз превышал вес белого медведя — крупнейшего из известных наземных хищников. Брахиозавр (*Brachiosaurus*), самый крупный из растительноядных динозавров от которого сохранился сравнительно полный скелет, был гораздо больше. Он, по-видимому, весил примерно 50 тонн — в 10 раз тяжелее африканского слона и примерно столько же, сколько весит кашалот средних размеров. Хотя брахиозавр и был великолепным представителем вымерших гигантов (13 м в высоту, или больше чем в 2 раза выше взрослого жирафа), он, по всей видимости, был не самым крупным динозавром. *Supersaurus* и *Ultrasaurus*, известные только по нескольким костям, были, вероятно, гораздо более впечатляющими созданиями.

Проблема поддержки своего веса очень крупными наземными животными была впервые изучена Галилеем в начале 1600-х годов, когда он пытался найти зависимость прочности конструкции от ее геометрических размеров. Рассмотрим двух животных разных размеров, которые геометрически подобны. Пусть, напри-

ТИРАННОЗАВР, хищник, преследует растительноядного трицератопса. Как быстро двигались животные? Всегда ли хищнику удавалось настичь свою жертву?

мер, более крупное в два раза длиннее более мелкого, а также в два раза шире и в два раза выше. В этом случае объем более крупного животного в 2(длина)×2(высота)×2(ширина) = 8 раз больше объема мелкого. Следовательно, допуская, что они «сделаны» из одного и того же вещества, заключаем, что более крупное животное весит в 8 раз больше.

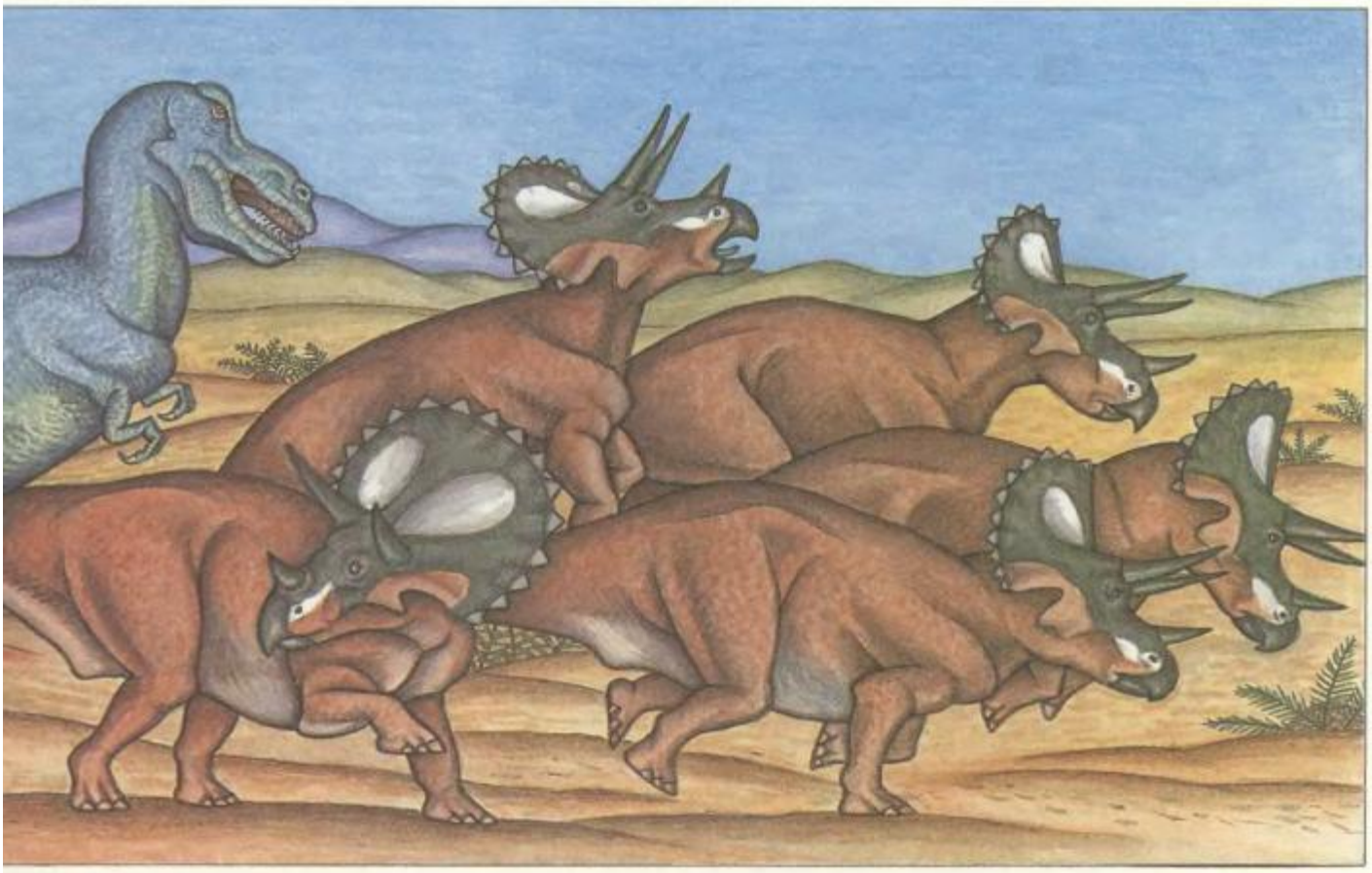
Но здесь есть одна тонкость: если объем более крупного животного в 8 раз больше, прочность его ног возрастает не более чем в 4 раза. Поскольку прочность конечности пропорциональна площади ее поперечного сечения, одна нога будет лишь в 2(длина)×2(ширина) = 4 раза прочнее. (Увеличение высоты не влияет на размеры поперечного сечения.) Другими словами, восьмикратный вес должен выдерживаться ногами с четырехкратной прочностью. Таким образом, как заметил Галилей, если животное становится значительно крупнее без изменения форм тела, оно в конечном итоге достигнет размеров, когда будет неспособно носить самое себя.

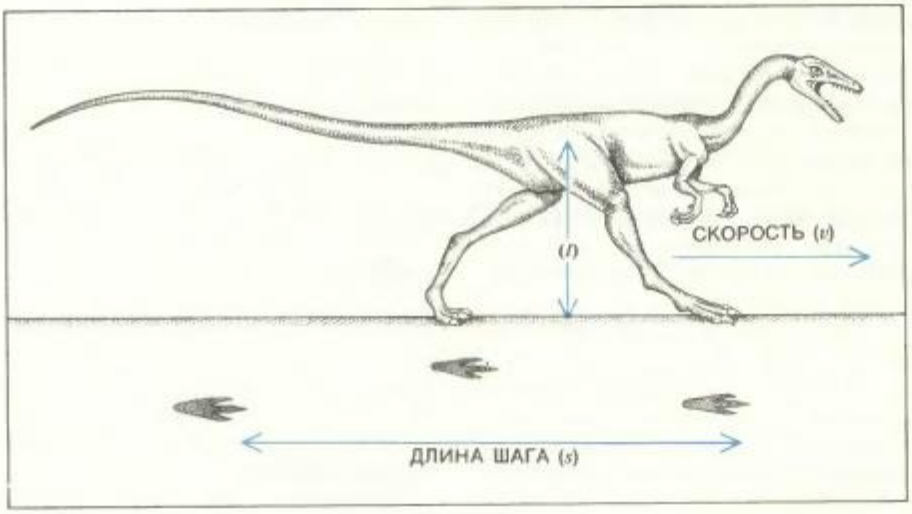
Для того чтобы использовать эти наблюдения в дальнейших рассуждениях о движении динозавров, нам необходима информация о современных животных — в частности, о влиянии различия в размерах на их движение. Несколько лет я изучал механику бега и прыжков лягушек, собак, кенгуру и других животных и был приглашен сделать доклад на конференции о влиянии размеров животных на их способ передвижения. Я был поставлен перед необходимостью разработать теорию бега, которая учитывала бы различие в размерах, и вскоре заметил одно выражение, часто фигурирующее в моих уравнениях: v^2/gl, где v — скорость бега, g — ускорение свободного падения (9,8 м/с^2), а l — длина ноги. Это выражение оказалось ключом, который в итоге открыл возможность оценки двигательных способностей динозавров и даже скорости их бега.

Оказалось, что v^2/gl входит в группу выражений, впервые использованных военным инженером-кораблестроителем Уильямом Фрудом, жившим в XIX веке. Пытаясь оценить энергетические затраты, необходимые для приведения в движение проектирующихся кораблей, Фруд проводил испытания на маломасштабных моделях перед тем, как сами корабли будут строиться. (Делая это, он хотел избежать дорогостоящих ошибок.) Носовая волна, образующаяся на поверхности воды перед движущимся кораблем, вызывает большое сопротивление судна. Фруд понял, что высота носовой волны в его моделях должна быть пропорциональна высоте реальной волны перед носом реального корабля. Он показал, что для того, чтобы верно определить высоту волны, испытания модели нужно проводить на скорости, которая определяется выражением, теперь называемым его именем: числом Фруда.

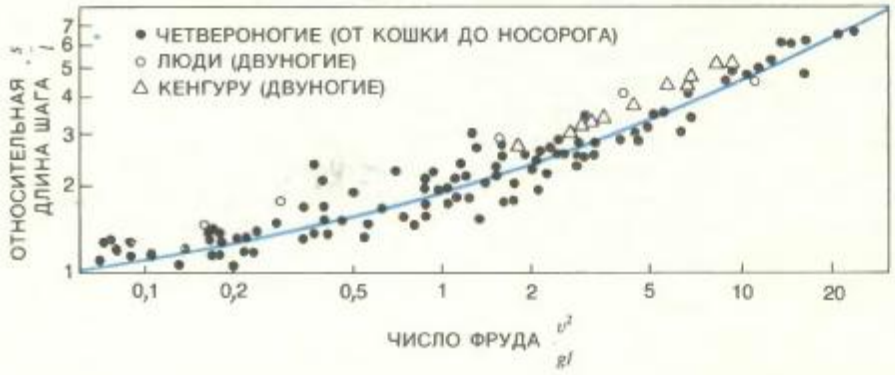
В судостроении число Фруда для модели (v^2/gl) должно быть таким же, как и число Фруда для реального судна, движущегося с нормальной скоростью. В расчетах Фруда, конечно, l было не длиной ноги, а длиной корпуса корабля.

Эксперимент Фруда иллюстрировал частный случай более общего закона (если бы это было не так, то число Фруда не понадобилось бы мне, поскольку корабли «не очень» похожи на динозавров). Закон учитывает концепцию динамического подобия, которую можно считать расширением геометрического подобия. Два тела геометрически подобны, если одно из них становится идентичным другому при равномерном изменении масштаба длин. (Высота и ширина, конечно, должны меняться пропорционально.) Аналогично, два движения динамически подобны, если одно из них становится идентичным другому при равномерном изменении в масштабах





ДЛИНА ШАГА — расстояние между двумя последовательными отпечатками одной и той же ноги. На рисунке показан динозавр *Compsognathus*, хищник размером с обыкновенную курицу.



ЧИСЛА ФРУДА для кенгуру, человека и четвероногих, таких, как носороги, представлены в зависимости от относительных длин шага. Числа возрастают логарифмически и хорошо видно различие между числами Фруда 0,1 и 20.

длины, времени и силы. Два животных различных размеров, например, могут быть динамически подобны, если оба они бегут рысью или галопом.

Общее правило, которое применяется к носовым волнам, бегущим животным и всем другим механическим системам, учитывающим гравитацию, говорит о том, что динамическое подобие возможно только тогда, когда числа Фруда равны. Сравнение энергий таких систем вносит ясность в этот вопрос. При подъеме и падении волны или подъеме и опускании конечности энергия переходит из кинетической в потенциальную и обратно. Две системы могут быть динамически подобны, только если они имеют одинаковое отношение кинетической энергии (равной $1/2\,mv^2$ для тела массой m, движущегося со скоростью v) к потенциальной энергии (равной mgh, где h — высота). Это отношение, $v^2/2gh$, пропорционально числу Фруда.

Обладая такой формулой, мне было легко расширить наблюдения по кораблестроению на другие формы динамического подобия. Я предположил, что геометрически подобные животные различных размеров должны бегать «динамически подобным стилем», если их числа Фруда равны. Нельзя ожидать точного динамического подобия, поскольку животные разных размеров не обладают одинаковыми геометрическими формами, а строгое динамическое подобие требует строгого геометрического подобия.

Теория оказалась в общем верной. Например, одно из предсказаний гипотезы заключалось в том, что животные разных размеров должны использовать один и тот же аллюр, когда их числа Фруда равны. Действительно, хорьки и носороги меняют рысь на галоп при очень различных скоростях, но в каждом случае их числа Фруда примерно одинаковы. Хорьки меняют вид движения, когда начинают двигаться со скоростью 1,5 м/с. Поскольку высота в бедре у них составляет 0,09 м, число Фруда будет равно $(1,5)^2$, деленному на 0,09 и на g (9,8 м/с^2), т. е. в результате 2,55. Аналогичным образом, носорог переходит с рыси на галоп при 5,5 м/с, и у него высота в бедре составляет 1,2 м — число Фруда равно 2,57.

Другое предположение учитывает длину шага — расстояние между последовательными отпечатками одной и той же ноги. Чем быстрее бежит животное, тем длиннее его шаг. Гипотеза утверждает, что если числа Фруда разных животных равны, их шаг должен быть пропорционален длине ноги — следствие их динамического подобия. Поэтому график относительной длины шага (длины шага, деленной на длину ноги), отложенной в зависимости от числа Фруда, должен быть одинаковым для кошек и верблюдов, хорьков и носорогов (см. рисунок внизу слева)

Это соотношение, однако, оказывается верным только для млекопитающих размером с домашнюю кошку и больше. Оно несправедливо для более мелких млекопитающих, таких как крысы, поскольку они бегают часто в своеобразной, «приземистой» манере, слишком отличающейся от техники бега более крупных млекопитающих. График также показывает, что отношение между относительной длиной шага и числом Фруда для двуногих — людей и кенгуру — и четвероногих — собак и лошадей — примерно одно и то же, и эти два вида движения отражают некоторое динамическое подобие. (Иначе говоря, вы бегаете так же, как и маленький пони.)

График оказался гораздо более полезным, когда я понял, что могу воспользоваться им для оценки скорости бега динозавров, определив длину шага по сохранившимся отпечаткам их ног. Что оказалось удивительным, большое количество отпечатков ног динозавров дошло до нас как следы на илистой поверхности, впоследствии окаменевшей (см. статью: Дэвид Дж. Моссман и Уильям А. С. Сарджент. «Следы вымерших животных», «В мире науки», 1983 г., № 3). Эти следы говорят о том, что ноги динозавров находились непосредственно под их телами, как у млекопитающих и птиц, в отличие от современных рептилий, у которых они расставлены в стороны. Следовательно, зависимость между относительной длиной шага и числом Фруда для млекопитающих также применима и к динозаврам. Что же касается современных рептилий, то сравнение их с гигантами мезозойской эры в данном случае неуместно.

Наиболее крупные из известных отпечатков 1,3 м в диаметре, которые соответствуют задним ногам, были найдены в Испании. Отпечатки чуть меньшего размера обнаружены во многих частях мира — даже в графстве Йоркшир (Англия). Наиболее известные из таких отпечатков — размером от 0,9 до 1,0 м в диаметре — были найдены в штате Техас. Размер и форма этих отпечатков говорят о том, что их оставили завроподы — громадные растительноядные динозавры с характерной длинной шеей и хвостом, населявшие этот регион. Неподалеку от этих следов были обнаружены следы трехпалых двуногих, похожих на тираннозавра. В одном месте были найдены две цепочки следов, свидетельствующих о «встрече» двух «техассцев»: тираннозавроподобный двуногий ящер, видимо, преследовал четвероногого завропода (см. рисунок справа). Закончилась ли эта драматическая погоня убийством? Каким образом двигались животные: медленно, с трудом тащили свои тела или бешено неслись, сотрясая землю?

Используя числа Фруда и длину шага, измеренные на этих и подобных следах, я вначале сосредоточил свои усилия на определении скорости динозавров. Поскольку длина ноги может быть оценена, исходя из размера отпечатка, который должен составлять около четверти длины ноги, относительная длина шага также может быть рассчитана. А поскольку относительная длина шага установлена, то для определения соответствующих чисел Фруда я использовал вышеупомянутый график. Затем, «вооружившись» длиной ноги, я мог вычислить скорость. Результаты, возможно, не были очень точными, поскольку точки на графике имеют довольно широкий разброс и поскольку мы пользовались данными о современных животных.

Итак, скорость крупных динозавров оказалась невпечатляющей. Все известные отпечатки крупных завропод говорят о том, что они двигались со скоростью около 1 м/с (так же, как медленно идущий человек), кажущейся невероятно медленной для животных с трехметровыми задними ногами. И ни один из отпечатков крупных двуногих динозавров не свидетельствует о скорости выше 2,2 м/с — темп быстро идущего человека.

Хотя большинство крупных отпечатков оставлены медленно идущими динозаврами, многие из более мелких свидетельствуют о том, что животные бежали. Наиболее «быстрые» следы оставлены в Техасе двуногим ящером массой чуть больше полтонны, что примерно равно массе скаковой лошади, и еще одним более мелким. Обе цепочки следов свидетельствуют о скорости 12 м/с, которая выше максимальной скорости 11 м/с, достигнутой лучшими спринтерами из представителей человечества, но намного ниже скорости 15—17 м/с, с которой приближается к финишу скаковая лошадь.

Отсутствие отпечатков бегущих громадных динозавров, однако, не доказывает, что они не могли бегать, но лишь говорит о том, что они обычно ходили — по крайней мере по поверхностям, на которых следы хорошо сохранились. Если вы выйдете на улицу в снежный день и изучите отпечатки ног людей, вы, вероятнее всего, найдете короткие шаги, соответствующие скоростям ходьбы, но окажетесь неправы, если заключите, что люди не умеют бегать. Чтобы выяснить, как двигались при необходимости громадные динозавры, нужен совершенно иной подход.

Чем быстрее бежит животное, тем большее давление оказывают его ноги на грунт и тем прочнее они должны быть. Причина в том, что при более высоких скоростях бега каждая нога касается земли более короткое время, следовательно, она действует на землю с большей силой, которая необходима, чтобы сохранить некоторый баланс сил и выдер-

СЛЕДЫ ДИНОЗАВРОВ позволяют оценить длину шага и скорость. Небольшой трехпалый хищник, возможно, преследовал более крупного завропода. Эти две цепочки следов были обнаружены Р. Бердом в Пэлекси-Крик (шт. Техас) в 1944 г.

жать вес тела. Например, при медленной ходьбе сила, действующая на ногу человека, равна его весу, тогда как при спринтерском беге она увеличивается в 3,5 раза. Быстрый бег и атлетическое поведение требует прочных костей.

Изучение сил давления, оказываемого ногами различных животных на землю, привело к большему пониманию движения динозавров. Мои коллеги и я использовали силоизмерительную платформу (чувствительную к давлению панель, заделанную в пол) для регистрации сил давления на пол людей, собак, овец и кенгуру, когда они ходили, бегали и прыгали. Эти измерения, а также отснятые киноленты с бегущими животными и анатомические данные позволили рассчитать напряжения, которые эти различные виды движения вызывали в костях ног животных.

Для определения напряжений в костях диких животных, таких, как буйволы, которых можно было снять на пленку, но нельзя было привести в лабораторию, мы воспользовались некоторыми допущениями. Этот же подход можно было применить и к динозаврам, чтобы определить, как их кости выдерживали напряжения при беге, но воссоздание картины их движения потребовало бы тщательных расчетов и большого воображения. Мы предпочли более простой и быстрый путь, вновь воспользовавшись концепцией динамического подобия и методами строительной механики.

Силы оказывают действие на концы костей (в суставах), вызывая напряжения в теле костей. Эти силы могут быть разложены на составляющие: аксиальную силу (F_{ax}), действующую вдоль продольной оси кости, и поперечную силу (F_{trans}), действующую перпендикулярно ей (см. рисунок на с. 63). Взятая в отдельности, сила F_{ax} вызывает равномерное напряжение $-F_{ax}/A$, где A — площадь поперечного сечения кости, а знак минус говорит о том, что это напряжение сжатия. Кроме этого напряжения есть напряжения, обусловленные силой F_{trans}. Эти поперечные напряжения меняются по мере изменения толщины кости от $-F_{trans}x/Z$ на одном конце до $+F_{trans}x/Z$ на другом. В этих выражениях x — расстояние от поперечного сечения до конца кости, а Z — модуль поперечного сечения, характеризующий его геометрические параметры. (В инженерных учебниках можно найти, как определить модуль поперечного сечения.)

Слишком высокое напряжение сломает кость. Расчеты для костей ног бегущих и прыгающих современных животных показывают, что напряжение $F_{trans}x/Z$ обычно намного превышает напряжение F_{ax}/A. Это говорит о том, что поперечные силы гораздо более опасны для костей, чем аксиальные: действительно, проще сломать палку, или кость, или какой-нибудь длинный тонкий стержень поперечными силами, нежели аксиальными. Следовательно, если нам нужны только грубые оценки напряжений в костях, мы можем проигнорировать F_{ax} и рассматривать лишь F_{trans}.

Для животных, бегущих динамически подобным стилем, все силы, действующие на кости, пропорциональны весу тела W, поскольку силы должны уравновешивать этот вес. Это относится и к поперечным силам в костях ног: напряжения, которые они вызывают ($F_{trans}x/Z$), пропорциональны Wx/Z. Теперь представим себе двух подобных животных разных размеров, движущихся динамически подобным стилем. Напряжения в костях ног будут меньше у того животного, которое имеет более низкие значения Wx/Z. То есть кости этого животного достаточно прочны, чтобы делать более эффектные атлетические «трюки», чем кости другого животного с большими Wx/Z.

Обратив выражение, мы получим так называемый «показатель прочности», который используется чаще: Z/Wx. Таким образом, более высокими значениями Z/Wx обладает более атлетическое животное. Чтобы быть более точными, мы можем использовать Z/aWx, где a — часть веса тела, приходящаяся на передние, либо на задние ноги, по нашему усмотрению. Учет такого распределения веса позволяет нам сделать важные сравнения между, например, сло-

Прочность костей крупных животных

	МАССА ТЕЛА, Т	ПОКАЗАТЕЛЬ ПРОЧНОСТИ БЕДРЕННАЯ КОСТЬ	БОЛЬШЕБЕРЦОВАЯ КОСТЬ	ПЛЕЧЕВАЯ КОСТЬ
АФРИКАНСКИЙ СЛОН	2,5	7	9	11
АФРИКАНСКИЙ БУЙВОЛ	0,5	22	27	21
APATOSAURUS	34	9	6	14
DIPLODOCUS	12–19	3–5	ДАННЫЕ ОТСУТСТВУЮТ	ДАННЫЕ ОТСУТСТВУЮТ
TRICERATOPS	6–9	13–19	ДАННЫЕ ОТСУТСТВУЮТ	14–22
TYRANNOSAURUS	7,5	9	ДАННЫЕ ОТСУТСТВУЮТ	ДАННЫЕ ОТСУТСТВУЮТ

ном и апатозавром (*Apatosaurus*) — массивным растительноядным динозавром, поскольку большая часть веса слона приходится на передние ноги, а апатозавра — на задние.

Когда мы определили показатель прочности для основных костей ног крупных современных млекопитающих и динозавров, мы были способны заключить, что динозавр мог быть столь же подвижен, как и любое современное млекопитающее с такими же показателями. Это заключение основано на допущении, что материал костей разных животных может выдерживать одинаковые напряжения. И эксперименты с образцами костей птиц и млекопитающих говорят о том, что это действительно так. Мы не можем проверить эти напряжения на костях динозавров, поскольку их свойства изменились в процессе фоссилизации.

Заключение о том, что высокие показатели прочности подразумевают бóльшую подвижность, также зависит от допущения, что кости различных животных в процессе эволюции приобрели прочность, обеспечивающую им равные коэффициенты безопасности. Коэффициент безопасности конструкции равен силе, необходимой, чтобы ее разрушить, деленной на максимальную силу, которая будет действовать на конструкцию в нормальных условиях работы. (Инженеры обычно разрабатывают конструкции с коэффициентом безопасности 2 и более, чтобы уменьшить вероятность ее разрушения.)

Получить показатели прочности костей динозавров не так легко, как сделать вышеприведенные заключения. Первый этап — определить модуль сечения Z костей. Чтобы осуществить это, мне необходимы были точные размеры поперечных сечений на известных расстояниях x от конца кости. (В расчет модуля поперечного сечения входят площади всех частей сечения и их расстояния от середины кости.) У меня была возможность получить величины для x с точных рисунков, опубликованных ранее палеонтологами.

Теперь единственное, что я пропустил в ходе своих расчетов показателей прочности, был вес W динозавра и, если это был четвероногий динозавр, часть этого веса, приходящаяся на каждую пару ног. (Я уже объяснял, как получить вес динозавра, исходя из объема модели.)

Чтобы рассчитать распределение веса между парами ног, я должен был найти центр тяжести динозавра. Подвешивая модель на прочной нити вначале за нос, так чтобы она висела вертикально, и затем за спину, чтобы она висела горизонтально, я смог определить центр. Каждая модель была сфотографирована в обеих позициях, ось фотокамеры выдерживалась точно перпендикулярно плоскости, в которой висела модель. (Для этого эксперимента одножильный нейлон подходит лучше, чем крученая нить, которая раскручивается, вызывая вращение модели.) Поскольку центр тяжести висящего динозавра располагается точно под точкой подвеса, на каждой фотографии нить указывала центр тяжести. Я мог определить его при наложении двух фотографий.

Единственная сложность в этом методе была легко преодолена. В отличие от реальных динозавров, которые «носили» воздух в легких и чьи сравнительно плотные кости проходили в толще менее плотной плоти, модели были сделаны из твердой пластмассы с одинаковой плотностью. У динозавров кости были распределены по всему телу, так что они, вероятно, не влияли на положение центра тяжести слишком сильно. Воздух же весь располагался в передней части туловища. Я учитывал это различие в плотности либо в расчетах (допуская, что легкие занимают такой же относительный объем, как у рептилий и млекопитающих), либо высверливая в модели дыру, соответствующую приблизительному объему в том месте, где должны были находится легкие.

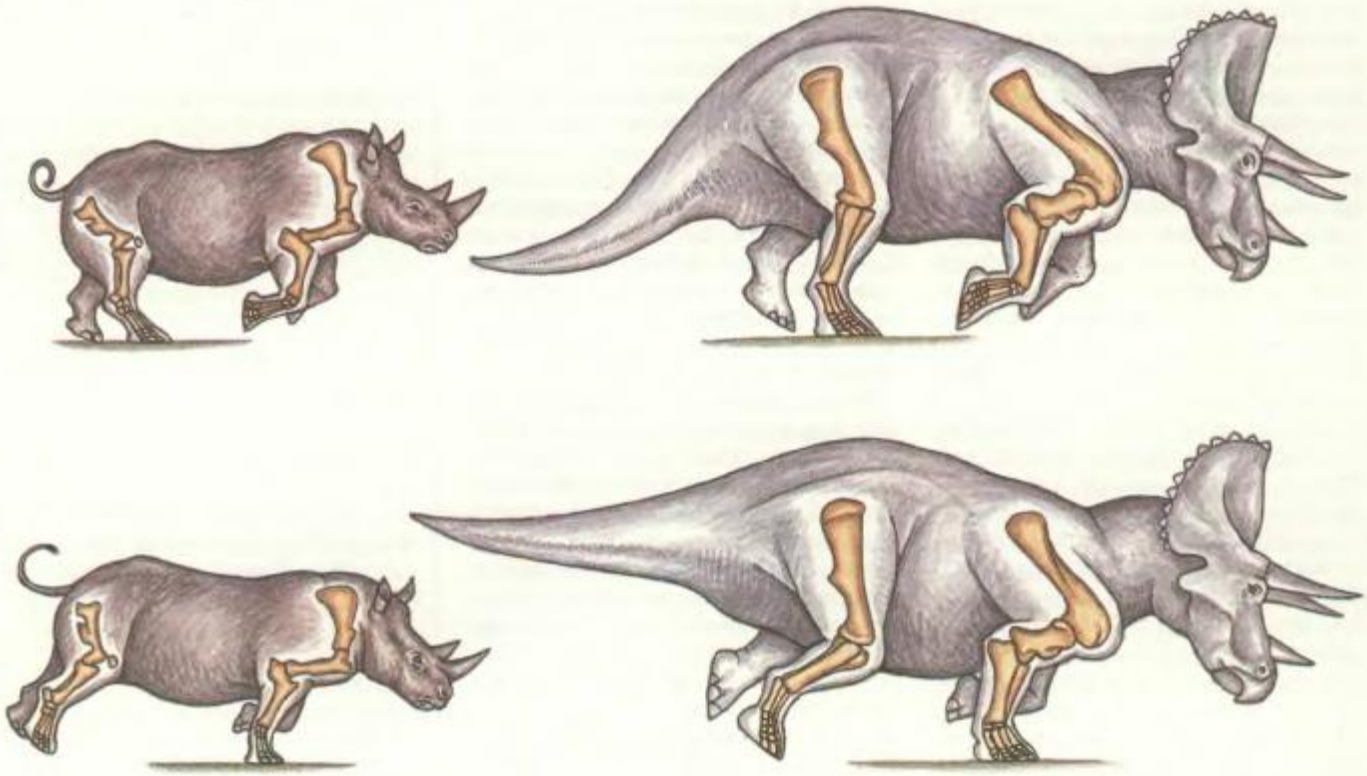
«Коррекция на легкие» лишь чуть-чуть сдвинула центр масс, менее чем на 20 см в 20-метровом завроподе. Насколько я понял, центр масс динозавра можно расположить примерно посередине между задними и передними

Как силы действуют на кости

При движении животного силы приложены к концам костей ног и вызывают напряжения в теле кости. Эти напряжения можно разбить на составляющие, обусловленные аксиальной силой (F_{ax}) и поперечной силой (F_{trans}). На диаграмме

в поперечном сечении (площадью A) результирующее напряжение равно $-F_{ax}/A$ (сила отрицательна, поскольку это сила сжатия). Это напряжение слабее, чем $F_{trans}x/Z$. (Z представляет собой модуль сечения — технический термин, описывающий свойства поперечного сечения).

СЛОН И АПАТОЗАВР, растительноядный динозавр, обладают примерно одинаковыми показателями прочности костей ног. Это означает, что вымерший гигант, вероятно, бегал таким же образом, что и наш современник — слон.



ТРИЦЕРАТОПС, возможно, двигался как белый носорог, современное млекопитающее. Белый носорог воспроизведен на рисунке по кадру из фильма, где он бежит галопом со скоростью 7 м/с, примерно соответствующей скорости быстрого бега человека.

ногами. (Если центр масс находится в двух метрах позади передних ног и в одном метре от задних, задние ноги должны нести две трети веса.)

ВСЕ ЭТИ экспериментальные приемы и данные, взятые вместе, обеспечивают информацией, которая нужна нам для расчета показателей прочности Z/aWx для различных конечностей динозавра (см. таблицу на с. 62). Напомним, что бóльшие значения Z/aWx свидетельствуют о большей подвижности животного. Расчеты позволяют нам сравнить слона с апатозавром — очень крупным завроподом, обычно известным под названием «бронтозавр». Показатели прочности в диапазоне 7—11 для костей ног африканских слонов не очень отличаются от 6—14 для апатозавра, чьи кости были крупнее, но пропорционально подобны.

Это сравнение говорит о том, что, несмотря на громадные размеры, апатозавр был таким же «атлетом», как и слон. Слоны умеют медленно бегать, но не могут скакать галопом или прыгать (узкого рва достаточно, чтобы держать их в вольере зоопарка). Кажется правдоподобным, что такое можно было бы сказать и об апатозавре. К сожалению, о скорости апатозавра трудно сказать что-либо определенное, поскольку большинство известных из литературы скоростей слонов — субъективные оценки, зачастую слишком преувеличенные теми, кому приходилось спасаться бегством от разъяренных животных. На одной из имеющихся у нас лент заснят молодой слон, бегущий со скоростью около 5 м/с (низкая скорость бега человека). Чтобы получить то же число Фруда для более длинных ног апатозавра, последний должен был бежать со скоростью 7 м/с — чуть быстрее слона.

Диплодок (*Diplodocus*), более стройный завропод, похоже, имел более низкий показатель прочности, по крайней мере для бедренной кости (единственной кости, для которой я определил поперечное сечение). Поэтому он был менее подвижен, способен ходить по суше без необходимости поддерживания водой, но, возможно, неспособен бегать. К сожалению, у нас есть серьезные сомнения о величине массы как диплодока, так и хорошо известного рогатого трицератопса, поскольку измерения были сделаны нами в каждом случае на моделях из кожи и пластмассы, и мы не знаем, какая из моделей более точная.

Показатели прочности для трицератопса выше, чем для обоих вышеназванных завропод, и расположены между значениями для слонов и более подвижных животных, таких, как африканские буйволы. Полученные данные позволяют предположить, что трицератопс был более подвижен, чем слон, и, возможно, умел скакать галопом как буйвол или носорог. У меня имеется лента со взрослым белым носорогом весом около двух тонн, который мчится галопом в большом вольере зоопарка со скоростью 7 м/с, преследуемый автомобилем. Трицератопс, чтобы достичь таких же чисел Фруда (что весьма сомнительно), должен был бы бежать со скоростью 9 м/с.

Выводы, сделанные нами для апатозавра, диплодока и трицератопса, предварительны. И мы должны быть более осторожны, описывая подвижность тираннозавра, поскольку все современные двуногие создания по сравнению с ним очень малы. Действительно, ни одно современное двуногое существо не передвигает свои ноги способом, который показался бы подходящим для конструкции тела тираннозавра. Мы можем лишь заметить, что показатель прочности для его бедренной кости низок и попадает в диапазон для слонов.

РАСЧЕТЫ, которые позволили мне оценить подвижность динозавров, основаны на методах, взятых из физики и техники. Особенно полезной для меня оказалась концепция динамического подобия, которая родилась в кораблестроении, но стала невероятно важной в аэродинамике, теплотехнике и других областях физической науки. А теория напряжений в балках, которая постоянно используется в строительной механике, позволила сделать важные заключения.

Обе теории помогли рассчитать скорости и прочность костей динозавров, но было бы глупо заявлять о том, что расчеты точны. Я надеюсь, что нашел и устранил некоторые источники ошибок. Результаты наших исследований создают впечатление, что, хотя динозавры медленно ходили, большинство из них было способно довольно быстро бегать и никому из них не нужно было постоянно находиться в воде, которая поддерживала бы их тела.

Отпечатки их ног свидетельствуют о том, что если бы мы жили в то время (и имели бы нервную систему), то могли бы спокойно гулять рядом с завроподом или тираннозавром и держаться от них на безопасном расстоянии без особого труда. Расчеты, произведенные исходя из размеров костей, говорят о том, что громадные завроподы могли быть подвижными не более чем слоны, и что трицератопс был чуть более быстр, чем они. Я думаю, что, вероятно, поспешил набросать облик хищника-тираннозавра, но я все же должен был попытаться это сделать.

В прессе искажаются итоги конференции по диоксину

Когда вашингтонский Институт хлора искал место для проведения научной конференции, требовалось найти не просто какое-то учреждение, которое могло бы предоставить помещение. «Мы искали организацию с безупречной репутацией, которая ни в чем не могла бы быть поставлена под сомнение на конференции», — говорит Р. Смерко — глава этого института, который финансируется примерно 170 фирмами, производящими бумагу, химикаты и другую продукцию.

Смерко, судя по всему, удалось найти желаемое, остановив свой выбор на Колд-Спринг-Харборской лаборатории. В октябре прошлого года принадлежащий этому известному учреждению Центр Банбери, пользующийся заслуженным уважением в научных кругах, совместно с Институтом хлора и Агентством охраны окружающей среды провел конференцию, посвященную проблемам, связанным с токсичностью 2,3,7,8-тетрахлордибензо-*п*-диоксина (TCDD). Это хлорсодержащее соединение получило печальную известность во время войны во Вьетнаме, когда было установлено, что оно в качестве примеси содержится в дефолианте «Orange». Споры по поводу диоксина продолжаются, так как он обнаружен в ряде имеющихся в продаже гербицидов и образуется в ходе некоторых промышленных химических процессов, в частности при отбеливании бумаги.

Если репутация Колд-Спринг-Харборской лаборатории безупречна, то о самой конференции этого сказать нельзя. В ней участвовали 38 авторитетных специалистов по диоксину, лишь немногие из которых, по их словам, были в курсе того, что ее устроили промышленники. Итоги встречи оказались не менее спорными, чем предмет, являвшийся главной темой дискуссий.

Все дело в сообщении для печати, которое по завершении конференции было разослано рекламной фирмой Daniel J. Edelman, Inc., обслуживающей Институт хлора. В нем говорилось, что достигнуто согласие в вопросе о токсичности диоксина и присутствие этого вещества в окружающей среде решено считать безопасным, если уровень его воздействия не превышает установленной величины. Отмечалось также, что отвергнута линейная модель токсичности, согласно которой любой уровень воздействия имеет биологические последствия, а правильной признана рецепторная модель, предусматривающая существование порогового уровня. (По словам директора Центра Банбери Я. Витковски, эта часть сообщения для печати была одобрена в Колд-Спринг-Харборской лаборатории, хотя, как он теперь утверждает, со стороны фирмы Daniel J. Edelman, Inc., в нее внесено несколько поправок.)

При таком консенсусе, несомненно, были бы установлены допустимые уровни содержания диоксина в окружающей среде. Но участники конференции утверждают, что такого согласия достигнуто не было. «В оценке риска не было никакого единства мнений», — сказал Дж. Люсьер из Национального института экологического здравоохранения. Кроме того, никто из ученых не видел этого сообщения для прессы, хотя в нем упоминались их фамилии. «Очевидно, что кто-то, к сожалению, использовал нас в своих целях», — заявил специалист по профилактической медицине А. Шехтер из университета шт. Нью-Йорк в Бингемтоне. «Политические манипуляции малоприятны, особенно если они делаются без вашего ведома», — добавил он.

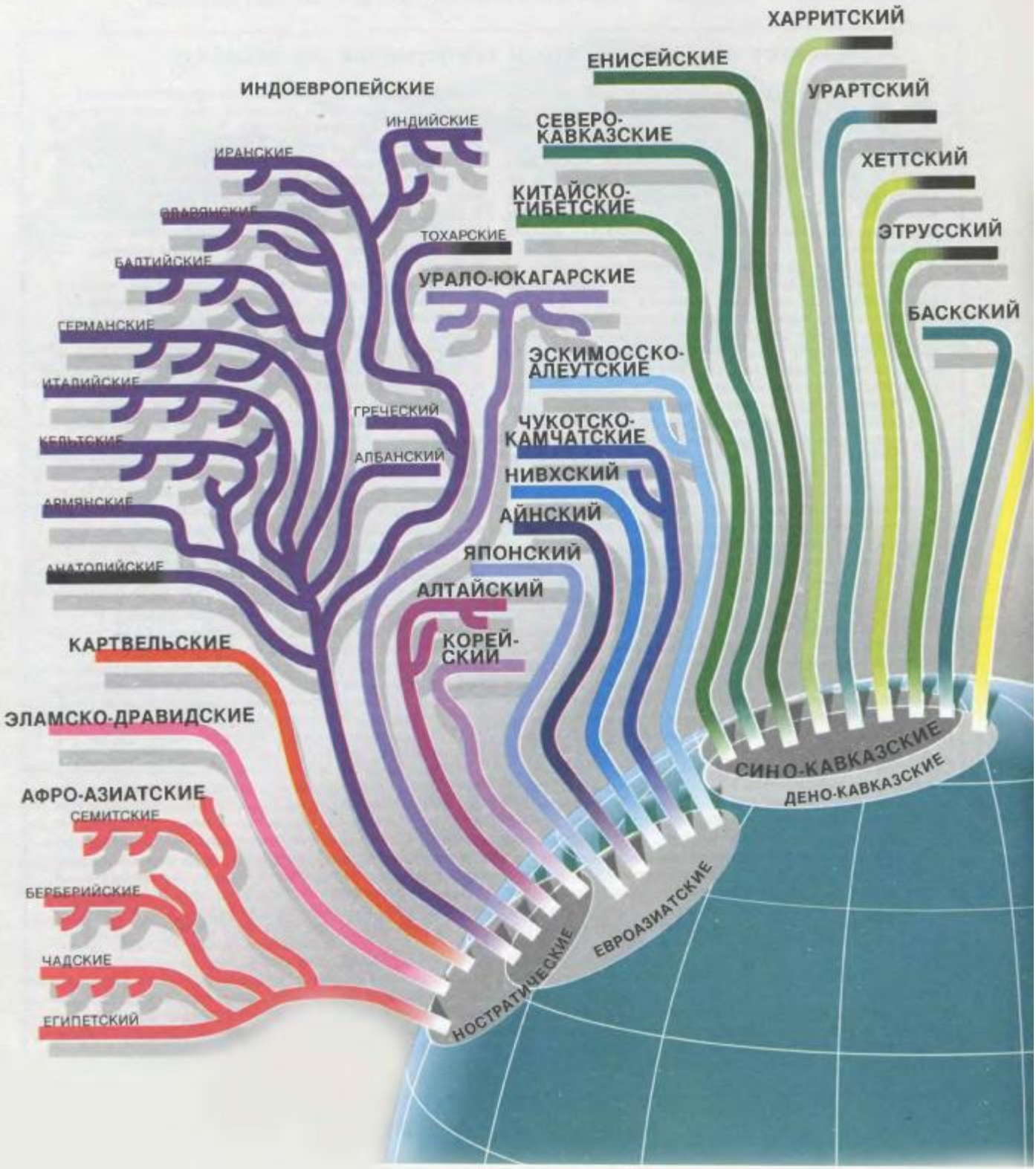
Лишь немногие участники конференции, похоже, оспаривали тот факт, что рецепторный механизм воздействия имеет отношение к влиянию диоксина на человека. Но соотношение мнений на этот счет было таким же и до начала конференции, как отметил А. Поланд из Висконсинского университета в Мадисоне, открывший рецептор диоксина в 1976 г. «В основном все было известно еще в 1981—1982 годах», — сказал он. Но Лосьер подчеркнул, что теперь можно переоценить линейную модель.

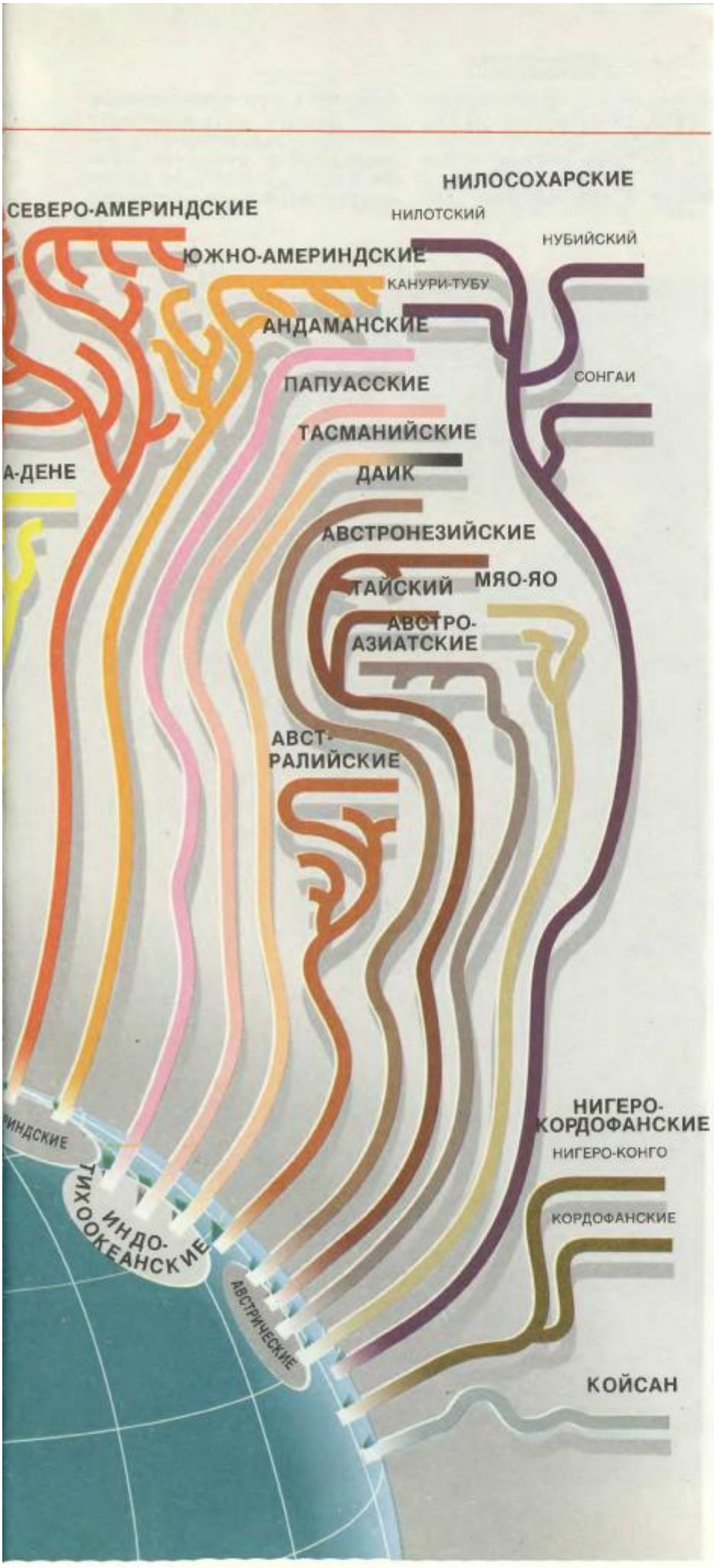
Действительно, Агентство охраны окружающей среды намерено изучить вопрос о существовании порогового уровня чувствительности человеческого организма к диоксину. Планируется также проверить рецепторную модель; в этой работе примет участие один из организаторов конференции — токсиколог М. Галло из Медицинской школы Роберта Вуда Джонсона Университета медицины и стоматологии шт. Нью-Джерси. По его мнению, которое разделяют и другие специалисты, говорить о пороговых уровнях в контексте каких бы то ни было регулирующих мер скорее всего преждевременно. На конференции сторонники таких мер воодушевились под впечатлением результатов некоторых расчетов и сочли, что можно было бы смягчить нормы допустимого содержания диоксина. Но Л. Бернбаум, возглавляющая в Агентстве охраны окружающей среды отдел экологической токсикологии, не видит для этого должных оснований.

Несмотря на то что многие участники встречи в Центре Банбери последними узнали о якобы достигнутом ими консенсусе, информация о конференции быстро распространилась в политических кругах. В Алабаме в ходе недавнего слушания дела, связанного с вопросом о нормах на содержание диоксина, эксперт Р. Кинан, выступавший в качестве свидетеля и дававший показания в пользу целлюлозно-бумажной промышленности, ссылался на результаты конференции по сообщению для печати. «Участники конференции согласились, что диоксин значительно менее опасен для человека, чем это считалось раньше», — утверждал Кинан. Химик К. Дженкинс из отдела опасных отходов Агентства по охране окружающей среды прокомментировал это так: «Когда преследуются корыстные политические цели, разумеется, есть прямой смысл пропагандировать итоги встречи в Центре Банбери».

Трудные слова

Филип Е. Росс





Как далеко можно проследить историю языка? Радикальные лингвисты относят ее начало к каменному веку. Приверженцы традиционной точки зрения с ними не согласны.

В начале было слово. Спросите у Меррита Рулена, каким было это слово, и он вам ответит — «tik». Возможно, что именно этим простым односложным словом доисторический человек называл «палец». Рулен утверждает, что от него происходят английское «toe» и латинское «digit». Он отказывается датировать существование такого корня, хотя другие авторы, основываясь на генетических данных, считают, что ему, возможно, 100 тыс. лет.

Независимый лингвист Рулен принадлежит к небольшой группе радикальных исследователей, которые полагают, что можно услышать эхо древних голосов. Он считает возможным свести все языки мира к единому первоисточнику, на котором говорили в далеком прошлом, — к языку, умолкшему задолго до того, как была

ГЕНЕАЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА относит целые семьи языков к предполагаемым сверхсемьям. Например, семья индоевропейских языков изображена фиолетовым цветом; в нее входит и английский язык как часть ее германской ветви (*на рисунке в левом верхнем углу*). Некоторые советские лингвисты группируют эту семью вместе с несколькими другими в ностратическую сверхсемью, вызывающую большие споры (*на рисунке в левом нижнем углу*). Предлагается и альтернативная концепция: существование евроазиатской сверхсемьи. Большинство лингвистов не считают доказанным существование сверхсемей и некоторых семей. На рисунке такие семьи, как этрусская, и подсемьи, как анатолийская, в которых нет живых языков, изображены черным цветом.

объезжена первая лошадь и вместе с человеком у костра расположилась первая собака. Другие ученые довольствуются тем, что прослеживают развитие слов языка от корней, существовавших, возможно, 12—15 тыс. лет назад, еще до возникновения земледелия.

Идея, что все несколько тысяч языков, на которых говорят 4 млрд. жителей Земли, имеют общее происхождение, весьма привлекательна. Это — своего рода лингвистическая параллель «гипотезы Евы», выдвинутой Алланом К. Уилсоном, Марком Стоункингом и Реббекой Л. Канн из Калифорнийского университета в г. Беркли. Сопоставляя образцы ДНК, они пытаются вывести происхождение всех людей на земле от единственной женщины, жившей в Африке, возможно, 150 тыс. лет назад. По своей важности эту гипотезу можно сравнить с единой теорией поля, которую пытаются сейчас построить физики. Но так же, как и соответствующие теории в других научных дисциплинах, ее очень трудно доказать.

В течение почти двух столетий ученые объединяли все языки примерно в 200 языковых семей. Некоторые семьи, так называемые изолаты, включают только один язык: наиболее известным примером такой семьи является баскский язык, на котором еще и сегодня говорят в Испанских и Французских Пиренеях. Но большинство семей состоит из нескольких языков, близость которых указывает на их происхождение от общего древнего предка — праязыка данной семьи. На большинстве праязыков, существование которых признается лингвистами, люди говорили около 7000 лет назад.

Большинству лингвистов-компаратистов (специалистов в области сравнительно-исторического языкознания. — *Ред.*), посвятивших себя изучению какой-либо одной группы языков, мысль о том, что можно сопоставить сами языковые семьи и обнаружить их гораздо более древние корни, представляется излишне амбициозной и неосуществимой. Ведь если бы удалось проследить генеалогическое древо языков до самых его глубоких корней, то те области, в которых трудилось большинство специалистов, окажутся лишь веточками на огромном дереве.

«Прикрикнуть»

Но существуют две группы исследователей, которые именно этим и занимаются. Первые серьезные попытки проследить разветвления человеческого языка от его неолитического ствола, существовавшего 12 тыс. лет назад, были предприняты 30 лет назад советскими лингвистами Владиславом М. Иллич-Свитычем и Аароном Б. Долгопольским. Эти двое ученых, вначале работавшие независимо друг от друга, проследили в конечном счете развитие шести языковых семей от одного гипотетического предка, который они назвали ностратическим языком. В этих язы-

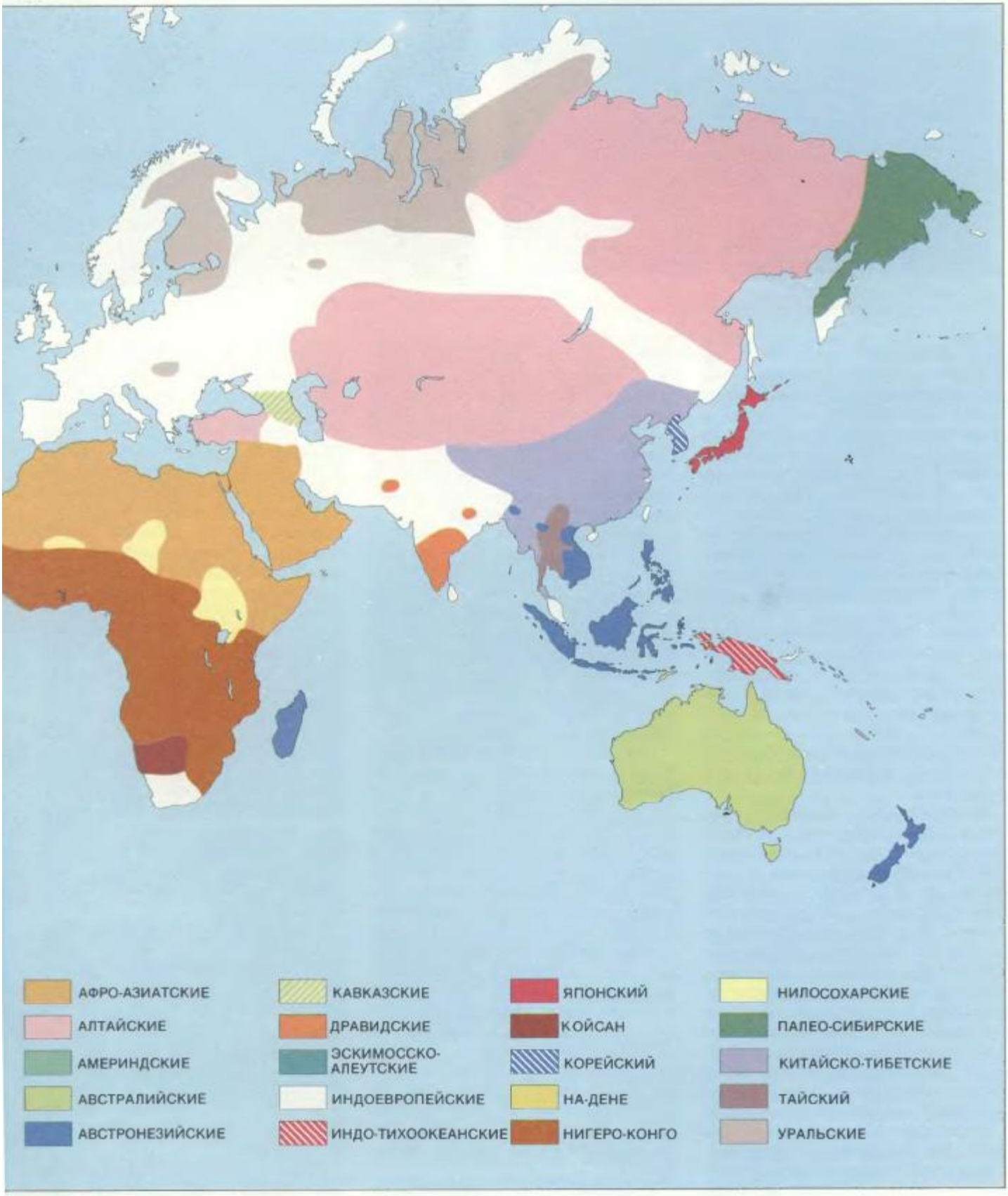
Семьи живых языков мира

На карте показаны ареалы основных языковых семей, большинство из которых общеприняты в лингвистике. В то же время существование некоторых семей оспаривается, в частности, это относится к семье американских языков. Поскольку такие более поздно образовавшиеся индоевропейские языки, как английский, французский и португальский заняли бы место всей семьи, вместо них указан ее древний ареал

ковых семьях, вместе взятых, сохраняется культурное наследие трех четвертей всего человечества.

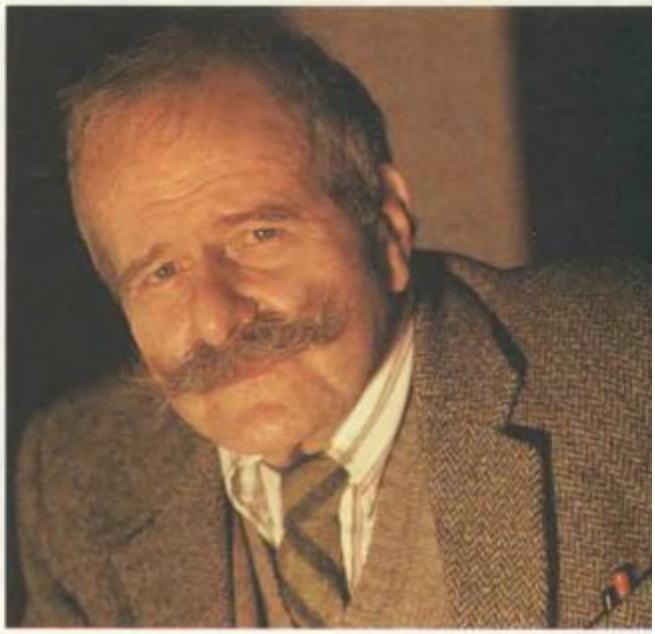
В США Джозеф Х. Гринберг из Станфордского университета начал в 50-е годы работу по сопоставлению языковых семей. В 1987 г. был опубликован его главный труд «Язык в Северной и Южной Америке». В этой книге Гринберг объединил многочисленные языки американского континента в три крупные группы, у каждой из которых были свои собственные древние предки. Тем самым он свел воедино три четверти языковых семей, которые существуют или когда-либо существовали.

Еще до того, как Гринберг опубли-



Сражающиеся лингвисты

Исследователи языков яростно спорят друг с другом о том, как далеко можно проследить генеалогию языка. Эрик П. Хэмп из Чикагского университета (*снимок слева*) представляет консервативную позицию лингвистов, занимающихся реконструкцией истории индоевропейских языков, семья которых наиболее хорошо изучена. Он не признает никакой этимологии, если она не объясняет всех изменений звучания и значения, которые слово претерпело на протяжении своей истории. Аарон Б. Долгопольский из университета г. Хайфа (*снимок в центре*) был 30 лет назад одним из первых исследователей предполагаемой ностратической сверхсемьи языков. В это время он еще работал в Советском Союзе. Долгопольский утверждает, что 1600 ностратических корней, которые реконструировали он и его коллеги, отвечают требованиям Хэмпа, даже если их этимологии начинаются там, где индоевропеисты заканчивают свои исследования. Джозеф Х. Гринберг из Стэнфордского университета (*снимок справа*) представляет наиболее радикальную лингвистическую школу. Он группирует целые семьи языков — в последнее время его деятельность охватила около 150 языковых семей в Новом Свете — в несколько сверхсемей и при этом не стремится реконструировать различные этапы их развития. Он заявляет, что его метод одновременного сопоставления многих языков позволяет обнаружить типы родства, ускользающие от внимания лингвистов, которые занимаются более узконаправленными исследованиями.



ковал результаты своих исследований, они подверглись резким нападкам. Появление в 1986 г. в журнале Current Anthropology сообщения о предстоящей публикации книги Гринберга побудило Лайла Кэмбелла, преподавателя языков американских индейцев в Луизианском университете, заявить, что на автора гринберговой классификации «надо прикрикнуть», чтобы он не сбивал с толку антропологов и не заставлял их зря тратить время, пытаясь подтвердить свои выводы.

Однако наиболее сильная оппозиция Гринбергу и авторам ностратической теории исходит от традиционных компаративистов, специализирующихся на изучении индоевропейских языков. Считается, что эта группа языков происходит от единого языка, на котором говорили в 4 или 5 тысячелетии до н. э.

Все специалисты сходятся на том, что к началу современной истории, примерно 4000 лет назад, в индоевропейских языках выделились с десяток ветвей, две из которых — анатолийская и тохарская — не оставили потомков. В средние века германские, италийские, кельтские, балтийские, славянские, греческие, армянские, иранские и индийские языковые ветви разделились на множество современных языков; некоторые из них вместе с завоевателями, фермерами, купцами и миссионерами распространились по всему миру и стали родными языками половины населения земли.

Исследования в индоевропеистике берут свое начало от систематизированных, хотя подчас и произвольных, классификаций XVI—XVII вв., когда теологи впервые попытались доказать библейскую версию о Вавилонском смешении языков, выводя все языки из библейского иврита. Уже в XVII в. были предприняты попытки создать этимологию языков — в частности, Готфридом Вильгельмом Лейбницем, одним из создателей дифференциального исчисления.

Однако лингвисты предпочитают считать своим первым крупным успехом положение, выдвинутое в 1786 г. Уильямом Джоунзом, известным ученым-юристом. Говоря о санскрите, греческом и латинском языках, он заметил, что «ни один филолог не может изучать эти три языка, не приходя к выводу, что они происходят от одного общего источника, который, возможно, уже не существует».

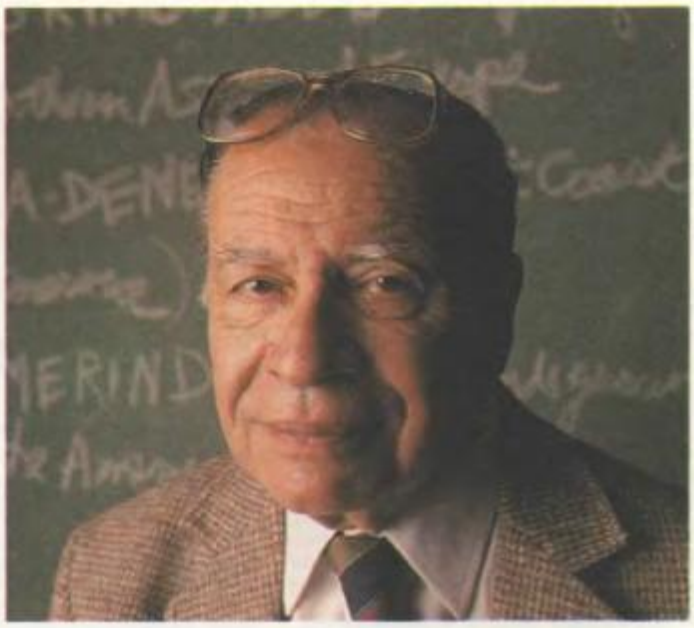
Ближайшими преемниками Джоунза были датчанин Расмус Раск и немецкие ученые Франц Бопп и Якоб Гримм, один из авторов знаменитых сказок братьев Гримм. Гримм впервые привлек внимание к тому, что в словах различных групп индоевропейских языков, имеющих сходные значения, обнаруживаются системные звуковые различия. Он заметил, что в таких современных германских языках, как английский и немецкий, встречаются звуки «f» и «v» там, где в языках других групп используется звук «p». Например, в английском и немецком говорят «father» и «vater», что соответствует в латинском «pater», а в санскрите — «pitar». Ряды таких соответствий, которые были названы «передвижениями звуков», были обнаружены во многих других языках.

В середине XIX в. сравнительно-исторический метод был применен в его почти современном виде в трудах Августа Шлейхера, который впервые изобразил различные языковые семьи в виде ветвей генеалогического древа. Шлейхер был также первым ученым, попытавшимся реконструировать древние языковые формы, выводя их из более поздних форм, — весьма трудоемкая работа, которую можно сравнить с триангуляцией. Он даже попытался представить, как из таких слов составлялись предложения с помощью грамматических показателей, которые он также реконструировал.

Лингвисты, изучающие историю языков, ищут в них аналогичные формы, затем, используя целый ряд критериев, проверяют, представляют ли они результат развития одной общей формы языка, который был последним общим предком двух данных языков. Такие формы называют родственными. Но так как языки постоянно изменяются, а слова заимствуются, модифицируются и выходят из употребления, реконструкция подлинных значений слов — это очень сложная задача.

В основе этого метода лежит предположение, что два языка могут иметь общее происхождение, даже если в них нет родственных слов. Если родственные слова есть у языка А и языка Б, а этот последний имеет такие слова с языком В, то все три языка должны находиться в родстве. Но при этом словарный состав языков А и В может не иметь общих единиц. Родство отражает историю языка, а не его состав.

Обычно лингвисты одновременно сопоставляют лишь несколько язы-



ков, отыскивая в них общее и реконструируя древние корни. К настоящему времени индоевропеисты уже реконструировали огромное число слов, которые были в употреблении задолго до изобретения письменности. Подобные реконструкции могут порой дать нам больше сведений о древних культурах, чем материальные артифакты.

Доисторические патриархи

Возьмем, например, реконструированное индоевропейское слово со значением «отец» — «p'tēr». Лингвисты смоделировали это слово на основе производных форм, а сравнительно-исторические исследования показали, что оно означало мужчину — главу семьи, как в латинской фразе «pater familias». Отсюда следует, что говорившие на индоевропейском праязыке жили патриархальными общинами.

Аналогичным образом лингвисты считают, что индоевропейское слово со значением «бог» было «deiw-os», которое позже в латинском языке стало «deus». В сочетании с «p'tēr» оно обозначало бога-патриарха в религии индоевропейцев. Оно сохранилось в латинском как «Jupiter», в греческом — как «Zeus patēr» и в санскрите — как «Dyaus pitar».

Этим путем можно реконструировать архетипы некоторых мифов в античных культурах, которые служат антропоморфными свидетельствами того, как жили индоевропейцы. «Одни только реконструированные слова «deiw-os» и «Dyeu p'ter» говорят нам больше о концептуальном мире индоевропейцев, чем множество изображений-идолов», — пишет Кальверт Уоткинс из Гарвардского университета в предисловии к словарю индоевропейских корней.

И в самом деле, реконструированный словарь индоевропейского праязыка очень много говорит нам о жизни людей, пользовавшихся этим языком. Например, советские лингвисты Тамаз В. Гамкрелидзе и В. В. Иванов отмечают, что многочисленные названия домашних животных, таких как собака, корова и овца, и таких злаков, как ячмень и пшеница, доказывают, что эти культуры были преимущественно сельскохозяйственными. (См. Тамаз В. Гамкрелидзе и В. Вс. Иванов. История происхождения индоевропейских языков. «В мире науки», май, 1990.)

Гамкрелидзе и Иванов также по-новому интерпретировали лингвистические данные, чтобы уточнить местонахождение родины индоевропейцев. До этого ее помещали то в степи России, то в леса Северной Европы. Однако советские ученые доказывают, что ряд слов в индоевропейском языке были заимствованы из неиндоевропейских языков древней Месопотамии, в частности восточной Анатолии (сегодня это часть Турции) и Южного Кавказа (в Грузии).

Отсюда праязык распространился на другие территории и распался на языки, которые сегодня составляют индоевропейскую группу. Традиционное представление об этом процессе рисует нам картину того, как всадники-завоеватели силой навязывают свой язык другим. Однако другой сценарий, который выдвинул недавно археолог Колин Ренфрю из Кембриджского университета, предусматривает постепенное распространение языка не с колесницами воинов, а вслед за плугом пахаря. (См. Колин Ренфрю. Происхождение индоевропейских языков. «В мире науки», декабрь, 1989.)

Изучая археологические данные, Ренфрю пришел к выводу, что сыновья земледельцев, селясь даже на коротком расстоянии от места своего рождения, могли за 1500 лет распространить свой язык по всей Европе. Когда люди отрывались от родных мест, их язык менялся от поколения к поколению, распадаясь на отдельные диалекты, а затем и на разные языки, носители которых уже не понимали друг друга. Хотя до появления земледелия такой механизм распространения и дифференциации языков был, по-видимому, невозможен, ностратическая гипотеза представляется Ренфрю весьма заманчивой. «Чем больше я узнаю о ностратической идее, — говорит он, — тем больший интерес она у меня вызывает».

Лингвисты считают результаты своих реконструкций вполне достоверными. По их мнению, реконструкции удовлетворяют самым строгим научным требованиям: на их основе делаются предсказания, которые могут быть проверены и подтверждены эмпирическими данными. Например, в XIX в. французский лингвист Фердинанд де Соссюр пришел к заключению, что индоевропейские языки произошли из языковой системы, в которой существовал особый класс звуков, не сохранившийся ни в одном из

Наука, где царит осторожность

Лингвисты склонны к консерватизму, и для этого есть некоторые основания. Чаще, чем других ученых, лингвистов осаждают дилетанты, которые то и дело выдвигают весьма сомнительные концепции. Большинство таких дилетантов — это просто безобидные графоманы, захваченные какой-то своей идеей. Но ведь был и Адольф Гитлер, использовавший странную смесь дарвинизма и индоевропейского языкознания для обоснования идеологии превосходства арийской расы.

После трагедии второй мировой войны не удивительно,что многие лингвисты спешат отвергнуть любую попытку установить связь между генами и языками Даже те лингвисты,кто не занимается вопросами классификации языков, с подозрением относятся к любой идее, которая может иметь расистские последствия.

Вспомним теорию креольских языков, предложенную почти 10 лет назад Дереком Бикертоном из Гавайского университета. Бикертон изучал общие языки, создаваемые иммигрантами в островных сообществах, и обнаружил, что они резко изменяются от первого ко второму поколению говорящих. Говорящие первого поколения составляли структурно неуклюжие коды, именуемые языками-пиджин, а их дети создали подлинные языки, называемые креольскими. Бикертон доказывает, что у всех креольских языков есть общие структурные черты, которые отражают врожденную структуру мозга.

Это может показаться эгалитарной идеей, но на самом деле это не так. «То, что креольские языки каким-то образом сохраняют врожденные структуры, имеющиеся у детей до двухлетнего возраста, — это в какой-то степени расистская идея, или она может быть использована в этом духе», — говорит Марк Р. Хейл из Гарвардского университета. Но разве инвариантный синтаксис креольских языков не свидетельствует скорее о единстве человечества?» Думаю, что таково было намерение Бикертона», — отвечает Хейл, несколько помедлив. — Но существует опасность, что другие истолкуют это иначе. Учтите, что на креольских языках говорят цветные люди, дети рабов и законтрактованных рабочих.»

У лингвиста могут быть политические неприятности, даже когда он изучает слова, называющие различные цвета. В 1968 г. Поль Кэй и Брент Берлин из Калифорнийского университета в Беркли решили проверить концепцию, согласно которой люди воспринимают окружающий мир исключительно через понятийную сетку языка.Крайняя точка зрения в этом вопросе заключалась в том, что русского, например, его язык заставляет видеть определенный цвет как голубой или синий, а американец видит его как единый цвет, поскольку в английском языке для него существует лишь одно слово.

Кэй и Берлин обнаружили, что это не так. «Главный результат, полученный нами, — замечает Кэй, — заключается в том, что языки, которые объединяют многие цвета под одним названием, делают это обычно одним и тем же способом. Некоторые люди до сих пор не могут простить мне этого. Другие даже утверждают, что из моей теории вытекают расистские выводы не потому, что она говорит об универсализме, а потому, что она обращает внимание на различие в числе обозначений цвета. В языках угнетателей-колонизаторов обычно имеется больше наименований цвета, чем в языках угнетенных народов.»

Горе тому лингвисту, который попытается сопоставить языковые изменения с определенными группами населения. Генетик Луиджи Л. Кавалли-Сфорца из Станфордского университета подвергся резкой критике со стороны лингвистов за попытку соотнести частоту появления определенных генов в популяциях с языками, на которых они говорят. Он считает, что расщепление генов и языков произошло в одно и то же время — когда популяции отделились друг от друга — и что некоторые расщепления относятся ко времени заселения земли представителями современного вида *Homo sapiens*. Чарлз Дарвин был первым, кто связал эволюцию языков с биологией. В работе «Происхождение человека и половой отбор» (1871) он писал: «Существует любопытный параллелизм между развитием различных языков и различных видов и между доказательствами, что оба процесса происхсдили постепенно». Но лингвистов пугает мысль о том, что в процессе эволюции простые формы могли преобразовываться в сложные.

Сегодня считается общепринятым, что ни один язык ни в чем существенном не «выше» любого другого языка, живого или мертвого. Язык меняется уже в процессе его использования, но он не становится ни лучше, ни хуже. Современный английский язык может быть более удобен для разговора о физике элементарных частиц, чем древнеанглийский, но это обстоятельство ничего не говорит о потенциальных ресурсах каждого из этих языков.

Прежние поколения лингвистов не были столь сдержанны при ранжировании языков. В XIX в. Август Шлейхер классифицировал языки по их структурам. Он утверждал, что «изолирующие» языки, такие, как китайский, используют только простые, инвариантные, элементы и поэтому являются более «примитивными», чем «агглютинативные» языки, такие, как турецкий, в котором слова строятся на основе четко выраженных элементарных форм. Однако его система не выдерживает критики даже в пределах ее собственных постулатов, так как она ставит язык эскимосов и других охотников и собирателей плодов выше тех языков, на которых говорят сами лингвисты.

известных языков. Позднее ученые установили, что это были ларингальные согласные, называемые так потому, что они произносятся у задней стенки гортани.

Теорию Соссюра считали хотя и стройной, но искусственной концепцией, пока в 20-х годах XIX в. археологи не обнаружили в Хаттусасе (современный Богазкёй, в 150 км от Анкары в Турции. — *Ред.*) дощечки с письменами из архива древних хеттских царей. Надписи на дощечках были сделаны на ранее неизвестных анатолийских языках, в которых сохранились некоторые изначальные согласные индоевропейского праязыка, предсказанные Соссюром.

Сторонники ностратической теории утверждают, что их сравнительные данные позволяют с такой же уверенностью заглянуть и в гораздо более древние культуры. Считается, что ностратический язык был предком индоевропейских языков, дравидских языков Южной Индии, картвельских языков Южного Кавказа, уральской семьи языков (включая финский и самоедский), алтайской семьи языков (турецкий, монгольский) и афроазиатских языков, которые иногда называют хамито-семитскими (арабский, берберский).

Иллич-Свитыч погиб в автомобильной аварии в возрасте 31 года, и запланированный им словарь ностратических корней остался незавершенным. Эта работа была продолжена в Университете г. Хайфы Долгопольским, который в 70-х годах эмигрировал в Израиль. Теперь этот словарь включает около 1600 корней, многие из которых содержат культурную информацию, сопоставимую по ценности с реконструированным индоевропейским лексиконом.

Однако наибольший интерес представляют наблюдаемые различия: в ностратическом языке имеется много названий растений, но нет названий для выращиваемых культур или для приемов выращивания. Точно так же там есть имена животных, но нет различия между животными домашними и дикими. Исходя из этого, ученые выдвигают предположение, что на ностратическом языке люди говорили до возникновения земледелия и скотоводства.

Отсюда, видимо, следует, что говорившие на ностратическом языке были охотниками-собирателями. Виталий Шеворошкин, который участвовал в создании советскими лингвистами ностратической теории (ныне он преподает в Мичиганском университете), отмечает, что словарь включает такие слова, как «haya», означавшее преследование дичи в течение не-

скольких дней. В то же время он указывает, что наличие названий долговременных убежищ свидетельствует о том, что ностраты (как он именует людей, говоривших на ностратическом языке) жили в поселениях, что подтверждается и некоторыми археологическими данными.

Однако сторонников ностратической теории обвиняют в том, что они приходят к подобным выводам, допуская такие натяжки, которые традиционные индоевропеисты считают неприемлемыми. Последние допускают, что советские лингвисты действительно реконструируют необходимую сеть звуковых передвижений и по общепринятым правилам пытаются реконструировать протослова. Но они считают, что сторонники ностратической теории сопоставляют недостаточно проверенные данные и признают родственными такие слова из разных языков, сходство которых может быть случайным или явиться результатом простого заимствования.

Сторонники ностратической теории возражают, что они сводят до минимума возможность случайного сходства, отыскивая комплексные соответствия звуков, и исключают случаи заимствования, выбирая слова, возможность заимствования которых мало вероятна. Это так называемые устойчивые слова, обозначающие понятия, которые, как считается, имеются во всех языках, — например, названия частей тела или таких природных объектов, как солнце и луна.

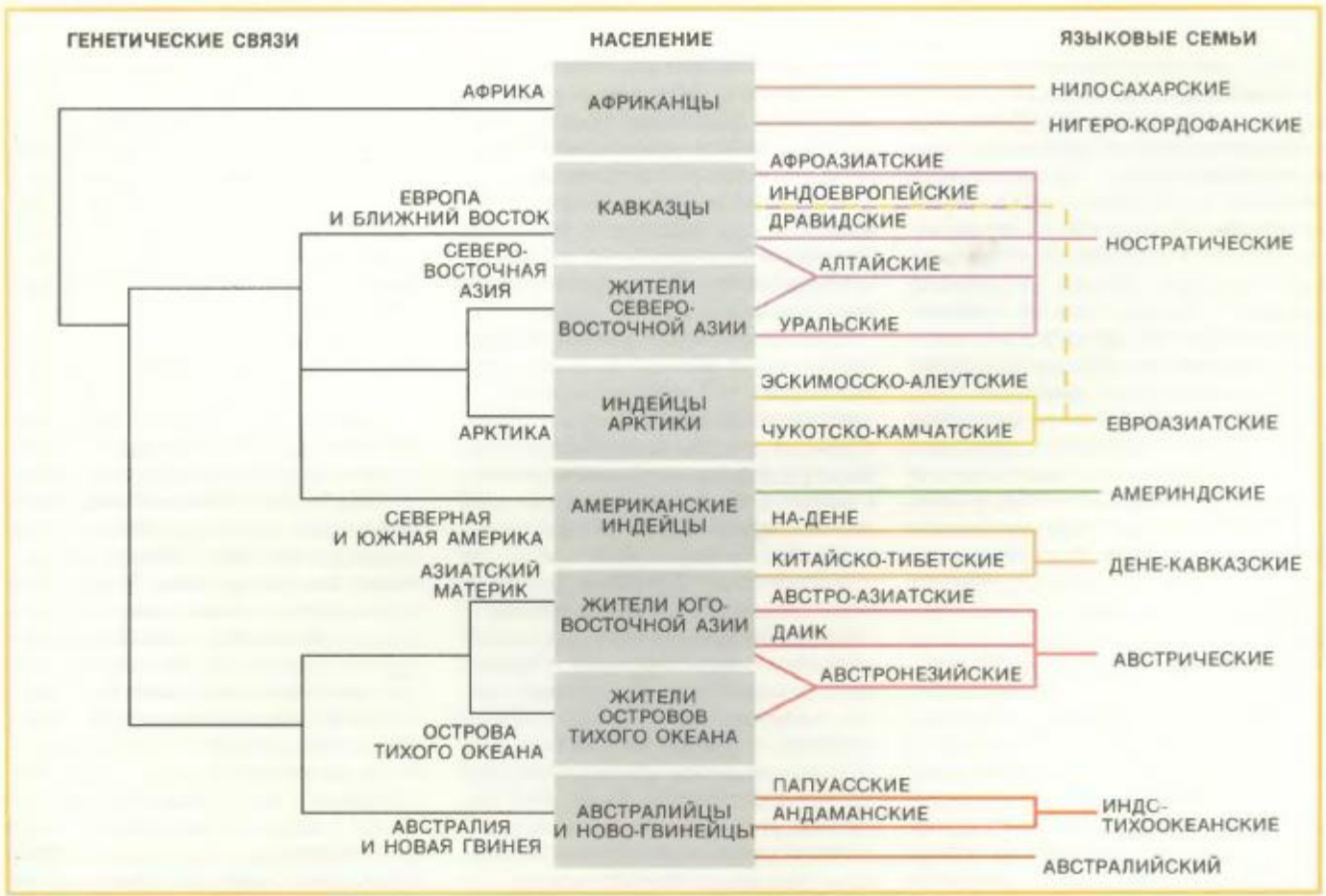
Заглушается помехами

«Несомненно, слово, обозначающее «дом», гораздо менее устойчиво, чем слово со значением «рука», поскольку вся система архитектуры и домостроения может измениться вместе с соответствующими словами», — говорит советский лингвист Сергей Старостин. «Известно, что заимствуются предметы и слова, которые эти предметы называют. Но нельзя же заимствовать «руку» — это и не происходит».

Однако индоевропеистов это не удовлетворяет. «Я не утверждаю, что сторонники ностратической теории не правы. Я считаю лишь, что они не доказали свою правоту», — заявляет Эрик П. Хэмп из Чикагского университета, один из ведущих лингвистов-компаративистов в мире. Хэмп и другие консерваторы от лингвистики доказывают, что информация, получаемая от давно вымерших языков, должна, подобно сигналам отдаленной радиостанции, заглушаться помехами, порождаемыми случайными языковыми изменениями.

Со своей стороны радикалы утверждают, что Хэмп и его коллеги-единомышленники обрушиваются на ностратическую и подобную ей теории, не приводя разумных доводов. «Я неоднократно обращался к Хэмпу и Кальверту Уоткинсу из Гарвардского университета с призывом опубликовать их возражения против ностратической теории, — говорит Алексис Мэнастер Реймер из Уэнского университета. Они оба участвовали в дискуссии по этому вопросу на конференции в Ани-Арбор в 1984 г., где я неоднократно просил их четко заявить, против чего, собственно, они возражают, но ответа так и не получил».

Однако, когда Хэмп дает ин-



ГЕНЫ И ЯЗЫКИ распадаются на сходные типы, поскольку и те и другие начали расходиться, когда человеческие популяции стали раскалываться на отдельные подгруппы. Исключение составляют такие случаи, когда популяция меняет язык своих предков на другой или ее члены заключают браки с представителями других племен.

Врожденна ли языковая способность?

Язык — это величайшее изобретение человека, если только он вообще является изобретением. Наум Хомский из Массачусетского технологического института таковым его не считает. Он полагает, что язык такая же врожденная способность ребенка, как умение летать орленка, и что дети не столько учатся языку, сколько спонтанно развивают его под влиянием внешнего стимула. «Очень немногие занимаются вопросом происхождения языка, — говорит Хомский, — потому что они считают это безнадежным делом.»

И в самом деле, этот вопрос вызвал столько разговоров и в результате о нем так мало узнали, что в 1866 г. Парижское лингвистическое общество запретило его обсуждение. Однако этот запрет был нарушен задолго до появления Хомского. Было выдвинуто много теорий:

— Теория «гав-гав». Первые слова могли быть образованы путем звукоподражания, например «гав-гав» для обозначения собаки, «ку-ку» для известной птицы и «шу-шу» для порыва ветра.

— Теория «фу-фу». Первые слова могли быть образованы из таких эмоциональных междометий, как «фу», «бв», «уф».

— Теория «раз-два». Когда большое число людей вместе тянули канат или катили камень, они могли издавать координирующие усилия звуки, которые потом получили определенный смысл.

— Теория «ля-ля». Некоторые звуки могли образоваться в игре — в детском пении или любовном ворковании.

— Теория «устных жестов». Вначале говорящие могли указывать губами, издавая звуки, позволяющие различать близкое и далекое. Так можно объяснить различие звуков в английских словах «this» (этот) и «that» (тот) и во французских словах «voici» (вот здесь) и «voilà» (вот там).

Все эти теории обходят, конечно, вопрос о том, почему вообще возник язык. Дерек Бикертон из Гавайского университета в недавно опубликованной книге «Язык и виды» выдвигает гипотезу, что развитие мозга создало язык как побочный продукт. Нейронные структуры, позволявшие древним гоминидам формировать на основе абстрагирования от восприятия «вторичное представление о мире», увеличивали их способность приспосабливаться к окружающей среде. Эти структуры могли позднее позволить им приписать значения определенным жестам и звукам, создавая тем самым примитивный язык, в котором еще не было синтаксиса,упорядоченного расположения слов, характерного для человеческого языка.

Такой примитивный язык имел бы много слов с определенным значением, но не имел бы грамматических элементов. Поскольку он возник бы значительно раньше синтаксиса, то его следы можно было, пожалуй, найти в жестикуляции обезьян, которых научили элементам языка жестов. Бикертон высказывает предположение, что у одичавших детей тоже можно заметить что-то вроде примитивного языка — они были оторваны от людей в раннем, решающем, возрасте, когда в языке ребенка обычно появляется синтаксис. Так называемые «дети-волки», которые были найдены в джунглях Индии в начале этого столетия, могли научиться многому, но никогда не ушли далеко в отношении языковой способности от уровня нормального двухлетнего ребенка.

Труднее всего объяснить скачок от примитивного языка к языку синтаксическому. Бикертон выдвигает предварительную гипотезу, согласно которой «для того,чтобы превратить протоязык в синтаксический язык, возможно, было достаточно одного генетического изменения». В заключение он отмечает, что все предпосылки, необходимые для появления языка, — более крупный мозг, улучшенный речевой тракт, новые нейронные связи — предполагают изменения в анатомическом строении головы.

Хомский также полагает, что это изменение должно было произойти сразу в генетическом отношении, так как синтаксис отражает существование врожденной структуры большой сложности. Он считает, что только врожденной способностью можно объяснить, что любой ребенок может овладеть любым языком и не делать грам-

тервью, он достаточно многословен, чтобы в течение шести часов вести непрерывный оживленный разговор по телефону, и преисполнен решимости использовать время, которое у него появится после предстоящего ухода на пенсию, для проведения новых исследований. При этом он с готовностью приводит цитаты из «вашей школьной латыни» или из «вашего гомеровского греческого», не считаясь с тем, что его собеседник может не знать ни того, ни другого.

Не скупится он и на возражения, когда слышит о ностратическом корне со значением «собака/волк», а именно «kŭjna/qŭjna». «Такое чередование «ķ» и «q» «уже неприемлемо», — говорит он. Иногда мы его допускаем для отдельных форм, но только, когда считаем, что знаем всю фонологическую систему». А когда Хэмп слышит, что этому корню приписывается значение «собака/волк», то полностью отвергает всю реконструкцию. «По-моему, они слишком вольно обращаются с семантикой», — говорит он. Насколько нам известно, в индоевропейском праязыке слово со значением «собака» не только обозначало это домашнее животное как зоологический вид, но имело и определенное социальное содержание. Говорить, что от «собаки» можно просто перейти к «волку», — значит слишком наивно смотреть на вещи».

Но как обстояло дело в ностратическом неолите? «Если на ностратическом языке говорили в то время, когда люди только начинали приручать собаку, то такое объединение двух понятий представляется вполне обоснованным», — возражает Мэнастер Реймер. А Долгопольский добавляет: «Я думаю, что он не прав, обвиняя нас в неточности».

Если сторонники ностратической теории порой выходят за рамки «правил «игры», то Гринберг со своей группой попросту нарушает эти правила. Гринберг даже не дает себе труда реконструировать корни. «Сторонники Гринберга не соблюдают даже правил компаративного метода», — утверждает Хэмп.

Вместо этого Гринберг оперирует сразу большими группами языков — процесс, который он именует многосторонним сопоставлением. Он предлагает сопоставить 25 основных языков современной Европы, чтобы сравнить звуки, которые в них используются для обозначения девяти базовых понятий: один, два, три, голова, глаз, ухо, нос, рот, зуб.

Изучая слова со значением «один», обнаруживаешь, что большинство из них относится к определенному классу. Так, сходство между литовским «vienas» и латышским «viens» несомненно. В словах со значением «два» уточняются некоторые неясные границы между классами, например формы «dau», «dau» и «do» соответственно в бретонском, ирландском и уэллльском языках. «В конечном счете выделяются три основные группы: индоевропейская, финно-угорская и баскская», — говорит Гринберг. «Затем можно подразделить индоевропейские языки на романские, балтийские, славянские, германские и албанские».

Ощетинились

Гринберг считает свой метод многостороннего сопоставления настолько сильным, что с его помощью можно обнаружить связи между языками, даже когда мы располагаем весьма скудными данными. Впервые он применил свой метод почти 30 лет назад для создания новой классификации африканских языков, многие из которых еще очень слабо описаны. Его работа заслужила одобрение даже некоторых из тех ученых, которые сегодня, подобно Хэмпу, принадлежат к числу его самых ярых критиков. По-видимому, этот успех побудил его влезть в самое страшное в его жизни «змеиное гнездо» — языки Нового Света, столь известные своим многообразием.

Классифицируя американские языки, Гринберг сначала подразделил их на эскимоско-алеутскую группу и наденскую, которая включала языки северо-западного побережья Тихого

матических ошибок, которые было бы естественно ожидать, если бы у него не было заранее запрограммированной структуры.

По мнению Хомского и других ученых, языковая способность человека могла возникнуть неожиданно, когда какое-то генетическое изменение свело совместно ряд особенностей, развившихся для других целей. Одной из таких целей могла быть способность сознательно контролировать звукопроизводство. Собаки лают всегда, когда им это хочется, а шимпанзе, по крайней мере, стараются сдержать невыгодные для них выкрики, хотя им это не всегда удается. Ну а люди могут лгать, как им угодно.

Другой потребностью адаптации может быть способность декодировать значения звуков. Самые лучшие телеграфистки не могут воспринимать азбуку Морзе с такой скоростью, с которой даже невнимательно слушающий ребенок понимает значения слов в диалоге. По-видимому, наш мозг приспособлен для анализа модуляций голоса. Сами эти модуляции исключительно разнообразны благодаря необычной форме речевого тракта человека. Филипп Либерман из Брауновского университета указывает, что такая форма делает человека единственным млекопитающим, который не может одновременно пить и дышать. Этот недостаток приводит к тому, что люди нередко умирают от удушья во время еды.

Но увеличившийся риск удушья, видимо, компенсировался большими артикуляционными возможностями нашего речевого тракта. Либерман утверждает на основании реконструкции ископаемых данных, что у неандертальцев, напротив, звуковой тракт был такой же, как у обезьян. Поэтому они были довольно бессловесными существами, и этот недостаток может объяснить, почему они вымерли, а *Homo sapiens* выжил.

ЧЕЛОВЕКООБРАЗНЫЕ ОБЕЗЬЯНЫ, например шимпанзе (*слева*), могут дышать во время заглатывания пищи, потому что у них надгортанник и парусовидная перепонка образуют водонепроницаемую перегородку. У человека (*справа*) положение гортани делает это невозможным. Источник: Филип Либерман.

океана и юго-запада США, например навахский. Эти группы в целом возражений не вызвали. Яростные нападки специалистов обрушились на выделенную Гринбергом третью группу, которую он назвал американдской и в которую он включил многие десятки языков, принадлежащих к другим языковым семьям полушария.

Если ностратическая теория заставила традиционалистов слегка «ощетиниться», то американдская концепция Гринберга привела их в ярость. Причина этого заключается в той видимой легкости, с которой эта система решает сложнейшие проблемы современной антропологии. Существует около 150 языковых семей американских индейцев, и между каждой из них имеется, как утверждают специалисты, такое же большое различие, как между индоевропейскими и китайско-тибетскими языками. А между тем в Старом Свете насчитывается лишь около 40 языковых семей, несмотря на то что он был заселен значительно раньше, что должно было привести к большему, а не к меньшему многообразию языков.

К тому же нередко ценные данные исчезают со смертью последнего представителя той или иной языковой семьи, а для описания вымирающих языков не хватает лингвистов или необходимых средств. Лингвисты полагают, что в следующем столетии вымрет половина из 6000 языков, существующих сегодня в мире. И никто не может с уверенностью сказать, сколько языков было в прошлом. «Даже когда в живых остается лишь пятеро носителей языка, лингвисты не спешат к ним на помощь с врачами и магнитофоном», — говорит Томас Л. Марки, организовавший недавно несколько международных конференций по индоевропейским и ностратическим исследованиям.

Гринберг считает, что и без попыток реконструировать древние языки его метод позволяет заглянуть в далекое прошлое. И с ним согласны все большее число ученых, работающих в других областях. Одними из первых его поддержали Стивен Л. Зегура и Кристи Дж. Тернер из Аризонского университета. Независимо от Гринберга они изучали генетические и дентальные различия среди американских индейцев. Услышав его лекцию о предварительных результатах исследований американских языков, они сообщили ему, что эти результаты хорошо соответствовали их собственным. Когда на карту нанесли границы лингвистической и биологической классификаций, то они примерно совпали. Основные расхождения обнаружились в отношении индейского населения северо-западного побережья Тихого океана, у которого, по-видимому, была очень запутанная история.

Первые американцы

В 1986 г. Гринберг и два его сотрудника опубликовали совместную работу. Они пришли к выводу, что предки американских индейцев мигрировали в Америку через перешеек, который когда-то соединял Сибирь с Аляской, по меньшей мере тремя отдельными волнами. Нельзя исключить, что таких волн было и больше, так как некоторые принесенные языки и гены могли не оставить следов. Трудно с точностью утверждать, из каких именно сообществ в Азии исходили эти волны, хотя советские лингвисты, проводившие самостоятельные исследования, предположили существование связи между на-денскими языками и языками Северного Кавказа.

Дополнительные генетические данные, подтверждающие американдскую гипотезу Гринберга, были позже представлены Дугласом Ц. Уоллесом из Эморийского университета. «Опубликованные нами в этом году данные показывают, что гипотеза Гринберга, видимо, правильна», — заявил Уоллес в интервью, которое он дал в конце ноября прошлого года. «Я убежден, что наши данные свидетельствуют о том, что палеоиндейцы — т. е. американды — составляют единую группу».

Уоллес указывает, что сочетание генетического и лингвистического анализа дает особенно хорошие ре-

зультаты в Америке, которая представляла собой своего рода «табуля раза». «Первые иммигранты, перешедшие через перешеек, не столкнулись с чуждой культурой, — говорит он. «Неудивительно, что в Старом Свете, где так часто смешивались языки, существует так много неясностей».

Однако другой авторитетный сторонник гипотезы Гринберга, генетик Луиджи Л. Кавалли-Сфорца из Станфордского университета, считает, что всем этим смешениям можно найти объяснение. «Гены не влияют непосредственно на язык», — замечает он, — но то, каким языком вы овладеваете, зависит от места вашего рождения и вашего окружения семьи и социальной среды. Если какая-либо группа изолируется от других, происходит расхождения как генетического фонда, так и языка, так что история генов и языка во многом едина».

Кавалли-Сфорца занимает такое же видное место в своей области, как и Гринберг в своей, и он тоже подвергся нападкам за поддержку американдской теории. Он пошел дальше и три года назад опубликовал работу, в которой устанавливалась корреляция между частотой появления определенных генов в разных популяциях и языковыми семьями, к которым эти популяции принадлежат. И свои лингвистические данные он брал из гринберговской классификации языков мира.

Кавалли-Сфорца признает, что существуют известные случаи, когда отдельные детали лингвистического и генетического древа не совпадают. Однако каждый из таких случаев можно объяснить как результат вытеснения одного языка другим или как следствие обмена генами. Хорошим примером такого вытеснения языков может служить Венгрия: хотя генетически ее народ полобен своим европейским соседям, он говорит на языке неиндоевропейской семьи, воспринятом в средние века от мадьярских завоевателей Венгрии. У американцев африканского происхождения имели место как вытеснение языка, так и частичная замена генов.

Не все согласны с подобными объяснениями. «Лингвисты умеют анализировать похожие слова, чтобы определить, является ли их сходство результатом общего происхождения или простого заимствования, но я не вижу, чтобы Кавалли-Сфорца мог бы сделать то же самое относительно генетических структур», — говорит Мэнастер Реймер.

Однако Кавалли-Сфорца, стремясь получить правильную картину древних демографических структур, уделяет особое внимание изучению тех популяций, в которых, как полагают, меньше языковых и генетических заимствований. «В популяциях аборигенов, — утверждает он, — следы полностью не стираются. Насколько я могу судить, свидетельства об общей истории уходят в далекое прошлое, во времена первоначального заселения Земли, может быть 100 тыс. лет назад».

Митохондриальная Ева

Эта оценка отражает результаты работы Аллана Уилсона и его коллег в «поисках Евы». Пытаясь проследить общее генетическое происхождение человечества, они изучали гены, содержащиеся в ДНК митохондрий — внутриклеточных органелл, служащих «энергетическими станциями» клетки. Поскольку такие ДНК наследуются исключительно по материнской линии и не «перетасовываются» с мужскими генами, «митохондриальная Ева» могла быть только женщиной.

Уилсон и его сотрудники обнаружили, что наибольшее генетическое разнообразие имеет место в Африке, исходя из чего они предположили, что именно там жили Ева и ее племя. Они проводят датирование на основе двойного ряда сопоставлений: сравнение людей из различных частей мира и сравнение людей, взятых как единая группа, и шимпанзе. При этом ДНК используется в качестве «молекулярных часов», отмечающих точку расхождения линий эволюционного развития человека и шимпанзе (что произошло более 5 млн. лет назад).

Но все эти доказательства, приводимые генетиками и археологами, не убеждают таких специалистов, как Кэмпбелл. Он отвергает концепцию Гринберга с яростью сутяжника, заявляя, что эта теория одновременно и неоригинальна, и бездоказательна. «Я не вижу никакой заслуги Гринберга», — резко возражает Кэмпбелл. Эта идея «уже носилась в воздухе; мы уже давно над ней работали. Но она не касается проблемы того, обязаны ли такие лексические подобия своим появлением историческим причинам или чему-либо другому».

Кэмпбелл также объявляет списки слов Гринберга бесполезными, а его грамматические схемы иллюзорными. Схемы, которые Гринберг считает «доказательными», наиболее четко выявляются при наличии двух местоименных показателей «n» для первого лица и «m» для второго лица. Кэмпбелл указывает, что этих показателей нет во многих языках, которые Гринберг относит к американдским, и они имеются в ряде языков, которые он сюда не включает. Он считает, что эти носовые звуки легко произносить, и поэтому они случайно могут легко превратиться в грамматические показатели. Он также указывает на склонность «детского языка» связывать каждый звук с обозначаемым понятием.

Независимо от того, действительно ли сторонникиностратической теории и Гринберг нарушают правила, гипотеза о моногенезисе языка кажется убедительной большинству лингвистов. В самом деле, появление языка может быть характерной чертой современного *Homo sapiens*, объясняющей, почему этот вид не скрещивался с такими своими современниками, как неандертальцы. Вырисовывается ужасная картина: гоминиды, не имеющие языка, вероятно, не казались полноценными людьми.

По-видимому, проблема моногенезиса будет продолжать существовать. Вопрос о происхождении языка имеет первостепенную значимость: история языка связана с торговлей товарами, миграцией народов и эволюцией идей. Любое открытие, сделанное компаративистами или лингвистами любой другой школы, отодвигает границу прошлого, которое считается невозвратимо утраченным.

Наука и общество

Внутрь решетки

При изучении вещества в конденсированных состояниях ученые часто обращаются к методу флуоресцентной спектроскопии, в котором анализируется свет, испускаемый возбужденными молекулами. Молекулы обладают уникальными спектральными характеристиками, которые позволяют определить свойства вещества, например его химический состав и длину связей. Однако все молекулы образца — это огромное множество «близнецов», поскольку они испускают свет одновременно. По мнению У. Мёрнера из Алмаденского исследовательного центра фирмы IBM в Сан-Хосе (шт. Калифорния), традиционными методами «измеряются средние свойства от тысяч до миллионов молекул».

Поэтому тонкие движения отдельных молекул при исследовании кри-

сталла могут «размываться» в нечеткую картину. Чтобы сохранить теряемую информацию, Мёрнер и его коллега У. Амброуз разработали способ наблюдения отдельных молекул, введенных в матрицу из вещества-хозяина.

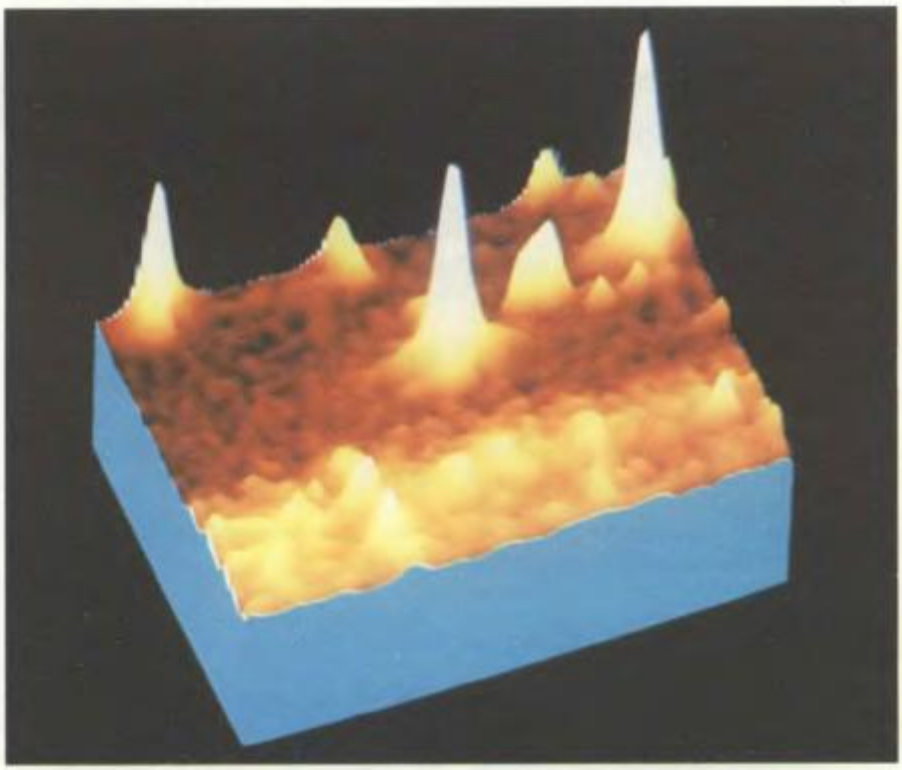
Такая примесная молекула действует как зонд, «откликающийся» различным образом на малые изменения параметров кристаллической решетки-хозяина. Возможность следить за такими изменениями в поведении примеси может оказаться важной в фундаментальных исследованиях стекол, которые как аморфные твердые тела обладают высокой степенью неупорядоченности, и полупроводников, свойства которых определяются специально вводимыми примесями, или добавками. В принципе методы исследования одиночных молекул могут составлять основу для создания сверхчувствительных молекулярных детекторов и датчиков, а также обеспечивать наблюдения за «биологическим транспортом» с использованием молекул с оптической меткой.

В своем эксперименте упомянутые выше исследователи вводили молекулы углеводорода пентацена в кристаллы *п*-терфенила, другого углеводорода. При возбуждении лазерным светом молекула пентацена флуоресцирует и флуоресценция измеряется счетчиком фотонов.

Принципиально метод прост. Однако исследование отдельных молекул в различных окружениях связано с определенными трудностями. Движения молекул кристалла-хозяина маскируют сигнал от молекулы-зонда. Соответствующие колебания кристаллической решетки, называемые фононами, уширяют линии в спектрах молекул-зондов, вызывая затруднения при их идентификации.

Чтобы отделить полезный сигнал от «шума», Мёрнер и Амброуз использовали микронный лазерный луч для зондирования кристаллов *п*-терфенила толщиной всего лишь 1—10 мкм. Количество рассеянного света было уменьшено благодаря как малому размеру лазерного светового пятна, так и малой толщине кристаллов. Образцы охлаждались до 1,5 К, так что можно было наблюдать «неоднородно уширенные линии» в спектрах. Неоднородное уширение вызывается дефектами в структуре кристалла-хозяина, поэтому можно исследовать локальные окружения, или области, где находятся молекулы-зонды.

Однако узких лазерных пучков, тонких кристаллов и низких температур еще недостаточно для исследования локальных окружений. Мёрнер считает, что «существует тенденция к скоплению молекул» вокруг определенной частоты. Поэтому вместо нее исследователи настраивали лазер на «крылья» такой уширенной линии, или на частоты, при которых должны флуоресцировать некоторые молекулы пентацена.



ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ МОЛЕКУЛЫ пентацена в кристалле-хозяине излучают свет при возбуждении лазером. Каждая молекула дает иглоподобный «всплеск» флуоресценции, если построить график ее интенсивности как функции положения молекулы в кристалле (*ось глубины*) и частоты лазера (*горизонтальная ось*). Высота этих пиков меняется, поскольку меняется положение молекул относительно центра лазерного пучка.

Теоретические расчеты помогли Мёрнеру и Амброузу прийти к выводу, что зарегистрированные в измеренных спектрах «всплески» излучения действительно соответствуют одиночным молекулам. Поскольку интенсивность поглощения и количество излученного света пропорциональны числу молекул, ученые определили, что они имеют дело с одной молекулой пентацена, а не с множеством таких молекул, излучающих на одной и той же частоте.

«Но еще более строгим доказательством того, что это одиночные молекулы, является удивительный эффект спектрального перескока, который мы наблюдали», — поясняет Мёрнер. Обычно при охлаждении твердого образца до очень низких температур все нормальные колебания решетки прекращаются. Следовательно, не должно происходить никаких изменений флуоресценции молекул пентацена.

Однако некоторые из этих молекул не остаются фиксированными. Их резонансные частоты испытывают резкие скачки с интервалами, изменяющимися от 1 с до 7 мин. «Такое явление не ожидалось, — отмечает Мёрнер. — Это движение нового типа в кристалле». Он полагает, что эффект перескока, вероятно, вызывается соседними молекулами *п*-терфенила, когда они переходят из одной ориентации в другую.

Изучение других молекул-зондов в разных материалах, например в стеклах и полимерах, описанным методом флуоресцентной спектроскопии позволяет проверять теоретические модели конденсированного состояния вещества. Однако до сих пор удалось наблюдать только молекулы-зонды на «крыльях» неоднородных линий, т. е. отличающиеся по частоте от большинства других. Исследование молекул с близкими частотами — это уже другой вопрос. Однако Мёрнер считает, что с помощью данного метода удастся достичь такого же уровня разрешения спектров молекул в твердых телах, какой достигнут в сканирующей туннельной микроскопии при исследовании атомов. «Мы постоянно ждем встречи с необычными явлениями».

Почему Тарзан и Джейн ходят в ногу с обитателями джунглей

ЯН СТЮАРТ

Тарзан подпрыгнул на обе ноги и шлепнулся. Джейн, сидя на дереве, наблюдала, как он повторил это упражнение раз двадцать. Она начала сомневаться, все ли в порядке с мозгами у ее мускулистого компаньона. Не один месяц потратила она на обучение его английскому языку и основам научных знаний, но он отказывался воспринимать то, что противоречило законам джунглей. Ухватившись за ближайшую лиану, Джейн спустилась вниз, чтобы выяснить причину его кривляний.

— Доброе утро, мой светлейший ангел, — приветствовал ее человек-обезьяна.

Она с удовлетворением отметила, что его лексикон расширился.

— Ты прыгал с какой-то целью или просто массировал свой зад?

— Я проверял справедливость принципа Кюри.

«Это уже что-то новое», — подумала она.

— И я считаю, что он не работает.

Джейн взяла его за руку.

— Пойдем куда-нибудь в тенек, посидим спокойно, и ты мне расскажешь об этом подробнее.

В тени раскидистого дерева на опушке леса Тарзан начал объяснять:

— Недавно я где-то прочитал, что человеческое тело обладает зеркальной симметрией. Это означает, что оно выглядит почти так же, как и его отражение в спокойном пруду или в каком-нибудь другом зеркале. Так?

Джейн согласно кивнула головой.

— А потом я наткнулся на фундаментальный принцип, предложенный физиком Пьером Кюри. Он утверждал, что симметричные причины вызывают такие же симметричные эффекты. Поэтому я подумал, что, будучи зеркально-симметричным человеком, я должен ходить зеркально-симметричным образом. Чтобы осуществить этот принцип, я хожу обеими ногами вперед одновременно.

Тарзан еще раз продемонстрировал Джейн, как он это делает. Упав на острый сучок, он вскрикнул от боли.

— Ты, наверное, не так все понял, — сказала Джейн.

— Да нет, понял, — ответил Тарзан, показав внушительную ссадину на ноге.

— Я имею в виду, что ты неверно интерпретировал принцип Кюри. Во-первых, если ты непременно хочешь овладеть зеркально-симметричной походкой, прыгай, как кенгуру. — Она прижала руки к груди и сделала несколько прыжков, держа ноги вместе. Тарзан смотрел с большим интересом. Наконец, набравшись мужества, он спросил, что такое походка.

— Это способ передвижения конечностей, используемый для перемещения, — объяснила Джейн. — Все животные имеют различные походки. Люди поочередно передвигают ноги, лошади галлопируют, газели скачут, т. е. совершают прыжки на четырех ногах сразу.

— Подскакивать — это, конечно, очень хорошо, — сказал Тарзан, — но это как раз говорит о том, что симметричная походка возможна. Я понял принцип Кюри так, что все человеческие походки — и походки всех зеркально-симметричных животных — должны быть зеркально-симметричными. — Задумавшись, он стал ходить туда-сюда по полянке.

— Однако в большинстве случаев это не так.

Джейн наблюдала, стараясь представить себе, как выглядела бы его походка в зеркале.

— Это почти так. Если отражать походку, то она все же выглядит такой же походкой. — Помолчав, она добавила: — Да это и должно быть так, иначе идущий человек выглядел бы очень странно в зеркале. Хотя я полагаю, что это еще не доказательство.

— Различие заключается в том, — прокомментировал Тарзан, — что когда я ставлю правую ногу вперед, мое зеркальное отражение ставит вперед левую ногу. На следующем шаге я выставляют вперед левую ногу, а мое отражение — правую. Мы с отражением все время идем не в ногу.

— Не в фазе, а не в ногу, — поправила его Джейн. — Вот почему в зеркале все выглядит правильно. Если задержать время на один шаг, передвижение ног в зеркале будет таким же, как в действительности.

— Фазе?

— Ходьба, как все походки, — это периодическое движение. Оно повторяется через определенные интервалы времени. Если у тебя есть две копии одного и того же периодического движения и одно из них смещено по времени от другого, то часть периода, представляющая задержку, называется смещением по фазе. Твоя левая нога отстает по фазе от правой ноги на половину периода, т.е. смещение по фазе составляет 0,5.

— А это очень интересно, — продолжала она, — поскольку мы обнаруживаем, что походки обладают симметрией не только в пространстве, но и во времени. В конце концов, симметрия есть не что иное, как преобразование, после которого система выглядит так же, как и до него. Сама по себе периодичность — это временна́я симметрия. Если сдвинуть время на один период, то все будет выглядеть точно так же. Человеческая ходьба обладает смешанной пространственно-временно́й симметрией: отражение слева направо и сдвиг по фазе на 0,5. Здорово, не правда ли?

— А когда ты прыгала, сдвиг по фазе был равен нулю? — спросил Тарзан неуверенно.

— Ну конечно. Вот видишь, ты все понял!

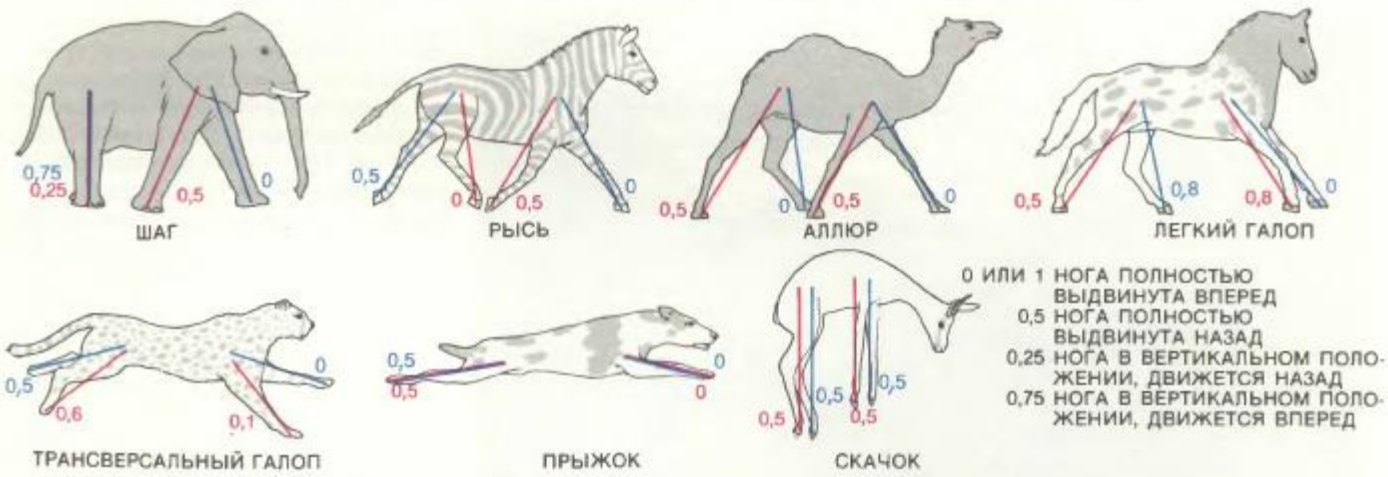
Человек-обезьяна вскочил на ноги, исполнил в высшей степени необычный танец и грохнулся на землю.

— Я пытался сделать сдвиг по фазе равным 0,3, — объяснил он. — Для этого нужно было, чтобы моя левая нога отставала от правой на 0,3 периода.

— Я не уверена, что тебе это удастся, — ответила Джейн, — поскольку это не настоящая симметрия. Видишь ли, если все должно выглядеть так же после того, как поменялись местами левая и правая нога и фаза изменилась на 0,3, то не только твоя левая нога должна отставать по фазе от правой на 0,3, но и правая должна отставать на 0,3 от левой. Поэтому правая нога будет отставать на 0,3 + 0,3, т. е. на 0,6 от самой себя, что, конечно же, звучит глупо.

— И опасно, — добавил Тарзан, грустно потирая свою ушибленную ногу.

— Послушай! Здесь же возникает теорема! — воскликнула Джейн. — Если отражение слева направо сочетается со сдвигом по фазе так, что



Семь способов передвижения животных; показаны относительные фазы движения ног

возникает симметрия, то сдвиг по фазе должен быть равен либо 0, либо 0,5. Никакой другой сдвиг невозможен.

— Почему?

— Потому что можно применить то же самое рассуждение, которое я только что привела. Если каждая нога отстает от другой на определенную фазу, то она отстает от самой себя на величину, вдвое превышающую эту фазу. Далее, нога может отставать от самой себя только на целое количество периодов, поскольку это по существу то же самое, как если бы не было никакого отставания. Поэтому двойная задержка по фазе может быть равна 0, 1, 2, 3 и так далее, а это в свою очередь означает, что сдвиг по фазе может равняться 0, 0,5; 1; 1,5 и так далее. Но 1 это то же самое, что 0, а 1,5 дает тот же результат, что и 0,5 ввиду периодичности.

— А это означает, — продолжила она, — что походки двуногих животных могут обладать только одной из этих двух симметрий или никакой симметрией вообще.

— Уж не знаю, как дело обстоит в моем случае. — Тарзан захромал, волоча одну ногу.

— Ну вот! Ты очень быстро все схватываешь, Тарзан!

— Чего я не понимаю, Джейн, так это, почему принцип Кюри не работает. Почему походка менее симметрична, чем само животное? Почему все звери не скачут сразу на четырех ногах, как газель?

Как раз в этот момент на поляну вышел слон, протрубив приветствие своим друзьям, людям.

— Заметь, — продолжил Тарзан, — я считаю, природа никогда бы не допустила, чтобы в результате эволюции появился скачущий, как газель, слон.

— Возможно, ты прав. Но в действительности принцип Кюри не срабатывает, потому что симметрия нарушается, — сказала Джейн.

— Что значит, симметрия нарушается?

— Это происходит, когда система ведет себя менее симметрично. Однако главное — понять, что принцип Кюри может не работать. Давай я тебе это продемонстрирую. Где Джим?

Молодой шимпанзе Джим обычно болтался где-нибудь неподалеку от их дома, чаще всего пытаясь стащить бананы. Джейн с легкостью поймала обезьяну. Затем она завязала узел на конце лианы и заставила Джима схватиться за него, поманив его большим спелым бананом.

— Заметь, что когда Джим сидит спокойно и лиана свисает вертикально вниз, — величественно указала Джейн, — вся система обладает круговой симметрией. — На лице Тарзана было недоумение. — Я имею в виду: если обойти ее вокруг, то она выглядит со всех сторон одинаково.

Тарзан внимательно посмотрел в лицо Джиму, затем, обойдя его с другой стороны, опять посмотрел, и его недоумение лишь возросло.

— Ты должен представить себе, что Джим — бесформенный комок, Тарзан.

Человек-обезьяна, просияв, понимающе кивнул.

— Теперь допустим, что я схватилась за лиану около этой ветви и начинаю раскачивать ее вверх-вниз. Важная часть системы — участок лианы, свисающий с ветки, и на конце которого сидит Джим, все еще обладает круговой симметрией, несмотря на то, что колеблется вверх-вниз. Однако смотри, что будет дальше. — Джейн стала дергать за лиану, и Джим начал раскачиваться, описывая сначала короткую дугу, потом все больше и больше. Шимпанзе повизгивал от восторга, размахивал руками и в конце концов свалился на землю, завершив эксперимент.

— Я все видел, — сказал Тарзан, — но не уверен, что́ именно я видел.

— Нарушение симметрии, — объявила Джейн. — Полностью симметричное состояние системы — это когда лиана висит вертикально. Когда я дергаю ее, система становится неустойчивой. Хотя теоретически неустойчивое симметричное состояние может сохраняться достаточно долго, на практике это не наблюдается, потому что случайные малые отклонения имеют тенденцию к росту. Поскольку совершенно симметричное состояние становится невозможным, система должна вести себя как-то по-другому, и, стало быть, ее состояние становится менее симметричным.

— Понимаю.

— В то же время состояние не является полностью асимметричным. — Джим раскачивался, оставаясь в одной плоскости. — Если представить себе, что эта плоскость — зеркало, то его раскачивания были симметричны по отношению к отражению. Это пример стоячей волны. И это еще не все. — Она опять поймала обезьянку, успокоила ее с помощью еще одного банана и снова посадила на лиану. — Джим может выполнить и колебание другого типа. — Она толкнула обезьяну, и та, раскачиваясь, стала описывать круги. — Ты можешь подумать, что это движение обладает круговой симметрией, но это неверно. Если повернуть систему на некоторый угол, она не будет выглядеть точно так же, как до поворота.

— Нет, это как хождение, отраженное в зеркале. Это тот же общий вид движения, но здесь другое расположение в любой заданный момент времени.

— Правильно. А что это означает?

— Конечно, здесь не совпадает время. Это опять сдвиг по фазе.

— Ты правильно понял, Тарзан.

Генератор движений Тарзана.

Если повернуть систему и ввести соответствующую временную задержку, система будет выглядеть точно так же, как до преобразования. Только в этом случае задержка по времени измеряется в долях окружности: например, поворот на 0,4 окружности требует временно́й задержки, равной 0,4 периода, и так далее. Это называется круговыми колебаниями.

— Когда совершенно симметричное состояние становится неустойчивым, — рассуждал Тарзан, — симметрия может вырождаться либо в стоячие, либо в круговые колебания. Стоячие колебания имеют чисто пространственную симметрию — отражение в их плоскости. Круговые колебания имеют смешанную пространственно-временную симметрию.

— Ну, конечно, именно так! — Тарзан стал колотить себя в грудь и издал победный клич. Джейн неодобрительно покачала головой. Видимо, образование человека-обезьяны было еще далеко не завершенным.

— Но круговая симметрия не исчезла бесследно, — сказала Джейн, схватив лиану так резко, что Джим вздрогнул от испуга. — Выбери вертикальную плоскость, проходящую через верхнюю часть лианы.

— Вдоль линии, проходящей вон по тому дереву, — ответил Тарзан.

Джейн толкнула Джима по направлению к указанному дереву; обезьяна стала раскачиваться в выбранной Тарзаном плоскости.

— В каких плоскостях получится тот же эффект?

— Я думаю, во всех, — ответил Тарзан. — При условии, что они вертикальны и проходят через точку, в которой лиана перекинута через ветку.

— Правильно. Это плоскости, проходящие через ось симметрии. А как соотносятся между собой все эти плоскости?

— Гмм. Они все получаются путем поворота другой. Понял! Вместо одного состояния системы, не изменяемого при всех вращениях, — то есть полностью симметричного состояния, — мы имеем множество менее симметричных состояний, каждое из которых получается из другого за счет вращения.

— Вот именно. Все это множество движений в целом еще обладает круговой симметрией в том смысле, что если повернуть любое произвольно выбранное движение, то мы получим другое движение, также принадлежащее множеству. Симметрия здесь не столько нарушается, сколько разделяется между многими движениями.

В это время какое-то бурое пятнистое животное с ревом промчалось по поляне и прыгнуло на Тарзана. Последовала короткая бурная схватка, которая закончилась восторженной улыбкой Тарзана, сжимающего в объятиях большую дикую кошку.

— Смотри-ка, кто пожаловал к нам в гости!

— Да, и пользуясь тем, что я назвала бы трансверсальным галопом, — заметила Джейн, — являющимся одним из наименее симметричных способов передвижения у животных.

— Какая же здесь симметрия? — спросил Тарзан.

— Об этом можно судить по сдвигу фаз, — ответила Джейн. — В трансверсальном галопе противоположные по диагонали ноги имеют смещение по фазе равное 0,5. Есть также любопытный сдвиг по фазе величиной 0,1 между левой и правой передними ногами, который я не буду комментировать. Но скажу, что этот сдвиг, вероятно, связан с эффективностью использования энергии животным. Симметрия же вот в чем: перейти от одной диагональной пары ног к другой и сдвинуть фазу на половину периода (см. рисунок на с. 79).

— Какое нарушение симметрии может породить этот тип движения? — полюбопытствовал Тарзан. Но солнце уже заходило, и они вернулись в свою хижину.

На следующее утро Джейн была разбужена громким визгом и трескотней. Выглянув, она увидела на поляне Тарзана в окружении стаи мартышек. Он соорудил замысловатую систему лиан между четырьмя деревьями (см. рисунок слева) и пытался с помощью бананов заманить молодых обезьян на верхушки четырех свисающих лиан.

— Это модель того, что биологи называют центральным генератором движений, — самодовольно сказал Тарзан. — Каждая обезьяна представляет компоненту нейронной системы животного, которая контролирует движения ноги. Лианы являются линиями, соединяющими нейроны между собой так, чтобы они могли взаимодействовать друг с другом. Динамика этой системы управляет ритмом походки. Смотри-ка! — Он оттолкнул одну из обезьян, и она начала раскачиваться; импульсы, передаваемые по другим лианам, вскоре заставили и других обезьян раскачиваться в такт с первой. Начала было складываться какая-то сложная закономерность, как вдруг одна из обезьян спрыгнула со своего места, чтобы украсть у другой банан.

— Механическая неисправность, — прокомментировал Тарзан. — Каждая система подобного рода допускает целый набор различных колебаний. Вот почему животное может пользоваться несколькими различными походками в зависимости от скорости перемещения, характера местности и т. д. Я могу промоделировать большинство стандартных способов передвижения животных, пользуясь квадратным расположением лиан. Как ни странно, единственно, что я не могу воспроизвести, — это передвижение четвероногого животного. Своеобразная восьмерка кругового колебания, когда передняя левая, задняя правая, передняя правая и задняя

левая ноги перемещаются последовательно друг за другом со сдвигом по фазе равным 0,25. Но я сумею смоделировать и эту ходьбу, если переделаю систему так, чтобы два боковых соединения пересекались.

— Подожди-ка, я подумаю над тем, что ты предлагаешь, — сказала Джейн. — Ты рассматриваешь системы связанных осцилляторов и пытаешься определить, какие нарушения симметрии могут иметь в них место. Затем ты сравниваешь результаты этих рассуждений с реальными походками, предполагая, что движения каждой ноги управляются осциллятором.

— Правильно. Хотя каждый осциллятор, как ты его называешь, в действительности может представлять собой сложную схему. И этот принцип работает! К примеру, тебе нужна прыгающая походка. Тогда ты настраиваешь две передние «ноги» на одновременное движение, — с этими словами он бросился на другой конец поляны, — а затем ты устанавливаешь систему так, чтобы две другие ноги тоже двигались вместе, но с отставанием по фазе 0,5. Конечно, можно заставить обезьян раскачиваться в любом режиме, но лишь несколько из них сохранят движение устойчивым в течение длительного времени. Движение остальных быстро нарушится. Я думаю, что как раз эти устойчивые режимы являются естественными колебаниями системы. Одинаково несложно получить способ передвижения рысью, шагом или подпрыгиванием на всех четырех ногах. Два способа галопа, по идее, не многим сложнее, но я что-то никак не могу уговорить обезьян продемонстрировать галоп. Чтобы решить эту проблему, наверное, нужно больше бананов.

— Пожалуй, Тарзан, ты добился впечатляющих результатов, — начала было Джейн, но ее спутник бросился в кусты с криком: «Жуки! Принцип должен работать и для жуков!» Он вышел из кустов, держа в руке зеленого жука. Он положил его на камень. После неуверенного старта насекомое быстро убежало.

— Треножная походка, — заметила Джейн. Ноги движутся по три, причем одна тройка отстает от другой на 0,5 по фазе. Изящные симметрии. — К вечеру Тарзан соорудил систему из шести лиан, связанных в шестиугольник, и шесть недоумевающих обезьян, довольные, раскачивались в треножной походке. Три обезьяны по одну сторону отставали по фазе на 0,5 от трех других по другую сторону.

На следующий день сразу после восхода солнца Джейн проснулась от ужасающего шума и гама. Выглянув из хижины она увидела, как Тарзан рубит деревья, чтобы сделать просеку в джунглях. На одном конце просеки лежала большая куча лиан, на другом — целая гора бананов размером с хижину. Кругом скакало множество шимпанзе.

«Зачем Тарзану понадобилось помощь 100 обезьян?» — подумала она. Ответ поразил ее воображение, как если бы она увидела гарцующего слона: Тарзана заинтересовали стоногие гусеницы.

Наука и общество

О причинах старческого слабоумия

Патологоанатомы диагностируют болезнь Альцгеймера по присутствию в ткани мозга так называемых сенильных бляшек, представляющих собой отложения белка амилоида. В этом белке видят ключ к природе заболевания, что находит подтверждение в недавно опубликованной в журнале «Nature» работе Дж. Харди и его коллег из Медицинской школы больницы св. Марии в Лондоне, которые идентифицировали ген, кодирующий белок амилоида. Если эти данные подтвердятся, они однозначно покажут, что болезнь Альцгеймера может начинаться с аномального процессинга белка амилоида; так считает Д. Селко из Медицинской школы Гарвардского университета, являющийся также консультантом в фирме Athena Neurosciences, Inc. в Южном Сан-Франциско, — одной из нескольких компаний, пытающихся найти средство, предотвращающее отложения амилоида.

Харди с коллегами обнаружил мутацию, затрагивающую белок — предшественник амилоида, у некоторых больных с наследственной формой заболевания. Эта мутация приводит к замене всего одной аминокислоты. Данное отличие, по-видимому, характерно в некоторых случаях болезни Альцгеймера. Однако в большинстве случаев заболевание, похоже, не имеет явной генетической причины.

Группа Харди изучала семью, в которой раннее начало болезни Альцгеймера тесно связано с наследованием гена, кодирующего белок — предшественник амилоида. «Мы почти сразу нашли мутацию», — рассказывает Харди. Та же мутация была выявлена у членов еще одной семьи, склонной к болезни Альцгеймера. Однако большинству подверженных заболеванию семей, обследованных Харди с сотрудниками, эта мутация не свойственна. Ее также не оказалось ни у кого из 100 здоровых людей. «Есть основания предполагать, что данная мутация является причиной болезни Альцгеймера, но это только предположение, — предостерегает Харди. — И оно будет опровергнуто, если такая мутация обнаружится у человека, не принадлежащего к группе риска в отношении болезни Альцгеймера».

Специалист по нейрогенетике Р. Танци из Массачусетсской больницы общего типа провел сходное исследование в поисках мутации, идентифицированной Харди, в другом контингенте пациентов с семейной болезнью Альцгеймера. Пока эта мутация у них не обнаружена, но Танци и его коллеги продолжают искать ее или какие-то другие генетические особенности.

На сегодняшний день нет полного понимания того, какие изменения в процессинге белка — предшественника амилоида могут вызывать прочие биохимические и психические аномалии, наблюдающиеся при болезни Альцгеймера. В норме ферменты протеиназы расщепляют полипептидную цепь белка — предшественника амилоида на короткие пептиды определенным образом. А при болезни Альцгеймера большие количества этого белка расщепляются иным образом и так называемые β-фрагменты высвобождаются. Именно β-фрагменты агрегируют, образуя сенильные бляшки.

Если действительно процессинг амилоида играет ключевую роль в развитии болезни Альцгеймера и если найдется способ прекращать высвобождение β-фрагментов, то открывается возможность предотвращать заболевание. Фирмы Athena Neurosciences, Eli Jilly и Cephalon, Inc. в сотрудничестве с компанией Schering-Plough разрабатывают это направление. Как сообщил президент Cephalon Ф. Балдино, идентифицированы протеиназы, расщепляющие белок — предшественник амилоида, и ведутся поиски их ингибиторов.

Биография Чандрасекара; как интерпретировать спутниковые изображения

ФИЛИП МОРРИСОН

Камешвар К. Уали. ЧАНДРА: БИОГРАФИЯ С. ЧАНДРАСЕКАРА
CHANDRA: A BIOGRAPHY OF S. CHANDRASEKHAR, by Kameshwar C. Wali. University of Chicago Press, 1990 ($ 29.95)

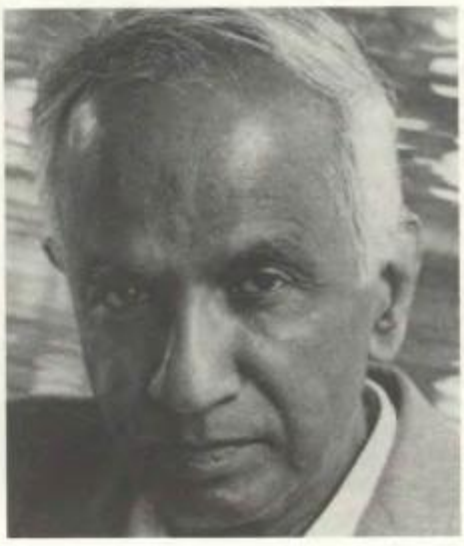
ЭТА книга о жизни знаменитого физика, профессора, который, несмотря на свои 80 лет, все так же элегантен, мягок в обращении, дотошен (как в приготовлении оладий, так и в составлении уравнений) и продолжает активную исследовательскую и преподавательскую деятельность. Когда Чандрасекару не исполнилось еще и 20 лет, он оставил свой родной дом в Индии и отправился в Англию продолжать свое образование в Кембриджском университете. Видя, что ее сын наделен многими способностями, мать одобрила этот шаг. «Он рожден для мира, а не для меня. Я не могу стоять на его пути... Это единственный подарок, который может дать мать», — говорила она. Мать и сын больше никогда не встретились; она умерла, когда еще не прошел и год после того, как сын покинул Индию.

Профессор Уали, также американский физик индийского происхождения, в молодости был поклонником Чандры, а затем стал его другом. В своей книге он не стремился дать исчерпывающей оценки многим заслугам ученого в области теоретической физики, скорее им нарисован портрет ученого, сопровождаемый повествованием о его жизни. В книге мы встретим множество фотографий, архивных материалов, воспоми ний студентов и тех людей, которым довелось работать или встречаться с Чандрой. Она содержит также воспоминания его жены Лалиты. (Они познакомились, когда были студентами-физиками Президентского колледжа в Мадрасе.)

Чандра отправился в Англию в июле 1930 г. Он взял с собой недавно написанную им научную статью, в которой были выполнены повторные расчеты плотности белого карлика, уточнявшие оценку профессора Ральфа Х. Фауэлера, с кем Чандра надеялся работать. Молодому студенту пришла в голову мысль, что при столь огромных плотностях необходимо учитывать релятивистские эффекты. Когда Чандра отплыл от берегов Индии, волнение на море вскоре улеглось и он засел за вывод следствий, которые оказались поистине революционными: то, к чему он пришел, было впоследствии названо «пределом Чандрасекара». Существование этого предела сейчас учитывается при вычислении массы белых карликов.

Окунувшись в среду астрономов, Чандра вызвал в ней волнение, которое улеглось вовсе не столь быстро, как волны на море во время его морского путешествия. Артур Эддингтон, который в узком кругу никогда не проявлял недружелюбия к своему новому студенту, в своих публичных выступлениях отрицал реальность названного предела, задевая тем самым самолюбие Чандры. Напрасно Чандра проверял и дополнял свои расчеты, напрасно Поль Дирак и Вольфганг Паули подтверждали, что вычисление предела было несомненно верным, напрасно Рудольф Петерс старался смягчить критические выступления в адрес Чандры. Никто не хотел противостоять авторитету сэра Артура, несмотря на то что теория молодого физика получила почти всеобщее признание. И хотя в то время физики уже перестали принимать всерьез Эддингтона, они пока не смели открыто игнорировать мнение некогда великого человека. До сих пор у Чандры сохранилось чувство причиненной ему обиды и того, что науке был нанесен ущерб. Это горькое чувство связано не с самой личностью Эддингтона, а с его самоуверенным и «аристократическим взглядом на науку», ныне преданным забвению.

Семья Чандрасекара была замечательной во многих отношениях. Его отец, отличавшийся оригинальностью мышления и твердостью характера, был государственным служа-



Чандра в возрасте 6, 23 и 73 лет

шим, который занимал высокий пост и пользовался большим уважением. Мать Чандры с любовью вела домашнее хозяйство и, несмотря на свою занятость, нашла время, чтобы перевести «Кукольный дом» Ибсена на тамильский язык. Младший брат его отца Ч. В. Раман был талантливым физиком-экспериментатором, который первым из индийских ученых был удостоен Нобелевской премии в 1930 г. Осознавая свою ответственность за развитие физической науки в Индии, он основал Институт Рамана в Хеббале. Вскоре после получения им Нобелевской премии Раман предложил своему племяннику место в Институте науки в Бангалоре. Отец Рамана, получив копию письма, содержавшего это предложение, тут же послал своему сыну-астроному такую телеграмму: «МОЙ СОВЕТ — ДЕРЖИСЬ В СТОРОНЕ ОТ ЕГО ОРБИТЫ».

Чандра решил обосноваться в Новом Свете, куда он приехал в 1936 г., чтобы проводить исследования в Обсерватории Чикагского университета. В нашем «астрономическом небе» Чандра до сих пор остается светилом, одним из ведущих теоретиков, чьи работы отличаются особым стилем, едва ли свойственным кому-либо еще со времени лорда Рэлея. Чандра всегда придавал особое значение стилю. В отличие от большинства физиков он видит особую красоту в комбинации логической формы и языка. «Я совершенствую стиль... не просто читая ... Т.С. Элиота, Вирджинию Вульф и Генри Джеймса, но и обращая внимание на то, как... они строят предложения и... абзацы...», — говорит Чандра.

В личных библиотеках большинства астрофизиков наверняка имеется по меньшей мере одна из 6 больших монографий этого ученого. Первая из них, опубликованная в 1939 г., посвящена структуре звезд, последняя — черным дырам (опубликована в 80-х годах).

Активное участие Чандры в общественной жизни общеизвестно. Впервые он окунулся в нее, когда принял первый раз живейшее участие в выборах президента США. В течение многих лет он был редактором самого известного в США астрономического журнала. Рассказывают, что в те дни, когда у него были лекции, Чандра за 100 миль (отделявших обсерваторию от университета) ездил читать лекции студентам-старшекурсникам, несмотря на то что на них могли предварительно записаться всего 2 человека.

Эта трогательная биография заканчивается главой, в которой Чандра делится своими сокровенными мыслями и где он выражает свою обеспокоенность тем, что науку все более пронизывает дух соперничества и погони за результатами. Мы видим, что он по-прежнему с беспокойством думает о том, будет ли принята только что написанная им очередная статья. Несмотря на достигнутое им в науке и мировую известность, чувство полного удовлетворения неведомо этому ученому, который в течение длительного времени успешно прокладывает путь к истине, пусть, возможно, и недостижимой. Слова одного физика, сказавшего, что ум Чандрасекара «отличается особой проницательностью», помогают нам понять и даже восхищаться этим трогательным качеством — неудовлетворенностью достигнутым.

Стивен А. Друри. РУКОВОДСТВО ПО ДИСТАНЦИОННОМУ ЗОНДИРОВАНИЮ: ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗЕМЛИ
A GUIDE TO REMOTE SENSING: INTERPRETING IMAGES OF THE EARTH, by Stephen A. Drury. Oxford University Press, 1990 ($ 85; paperbound; $ 39.95)
ЗЕМЛЯ ИЗ КОСМОСА: ВЗГЛЯД НА ПЛАНЕТУ СО СПУТНИКА
THE EARTH—FROM SPACE: A SATELLITE VIEW OF THE WORLD, by Tom Van Sant and the Geosphere Project of Santa Monica (paper, $ 15)

Спутниковые изображения у всех вызывают восхищение. Многие издания в виде атласов включают превосходные изображения, но в центре их внимания — содержание этих «картинок». Увлекательная книга А. Друди открывает читателям секреты того, как получают и интерпретируют спутниковые изображения. Ее автор, геолог из Открытого университета в Милтон-Кейнсе (Англия), — квалифицированный специалист в этой области, который «пытается привлечь внимание читателей к *использованию* дистанционного зондирования», так как с каждый днем потребность в нем растет. Мы узнаем из этого богатого собрания «эстетически подобранных и стимулирующих воображение иллюстраций» не только то, что можно увидеть, но в большей степени то, как это можно увидеть.

Примеры? Одно сероватое изображение испещрено маленькими белыми пятнышками — это радиолокационное изображение получено с борта шаттла, когда он пролетал над Желтой рекой в Китае. Каждое пятнышко — это деревня, примерно по одной на один квадратный километр. В Миннесоте нетрудно найти большие пшеничные поля, но с одной-единственной фермой на такой же площади, а не целой деревней. Жизнь миллиарда китайцев становится различимой с околоземной орбиты. Почему деревни и ирригационные сооружения дают такие яркие радиолокационные изображения? Они находятся на пересеченной местности, поэтому каждая «кочка» на поверхности является прекрасным отражателем.

Хорошо объясняется обычный условный красный цвет растительности; пики отражения хлорофилла находятся в ближней инфракрасной области, чтобы клетки, ответственные за процессы фотосинтеза в листьях, не нагревались жаркими лучами Солнца. Конечно, листья выглядят яркими для видеокамеры, чувствительной к ИК-излучению. Впервые эта схема была использована в аэрофотосъемке во время второй мировой войны. Почти все технические решения, используемые в космических аппаратах, были получены в процессе оборонных исследований. Военные всего мира до сих пор являются основными пользователями спутниковой информации. Чем меньше государство, тем больше спрос на гражданскую, мирную продукцию, полученную с орбиты.

Вот область, омываемая водами древних Тигра и Евфрата, как она выглядела в 1977 г. А вот та же область в 1986 г. Появились большие искусственные озера и каналы — оборонительные сооружения для сдерживания атаки иранских войск на Басру. В 90-х годах иракские гидрологические сооружения и вся эта область, по-видимому, будут еще заметнее с орбиты.

На испытательном изображении имеется сетка линий, причем контрастность возрастает вверх, а расстояние между линиями уменьшается вправо. Глаз может различить некоторое расстояние между линиями при более низкой контрастности, чем требуется для разрешения линий при большем и меньшем их разделении. Аналогичным образом может поступить и компьютер: заменить восемь элементов изображения одним со средним значением яркости. При этом какие-то мелкие детали могут исчезнуть. Если вычесть этот результат из первоначального цифрового изображения, то новое изображение будет резким. Теперь нужно снова сложить его с первоначальным. Это пример метода последовательных приближений.

Информация, представленная в цифровом виде, универсальна. Подобную процедуру можно проделать с любым цифровым изображением, особенно с набором изображений, полученных в разных полосах, и в то же время возможно разложение любой картины. Чтобы установить харак-

тер грунта в каком-то месте, вид растительности или тип скальных пород, нужно связать на компьютере две ближайшие точки одного цвета в цифровом изображении; это создаст базис для детальных классификационных карт любой поверхности. Один из примеров — определение перспектив урожая фермерских хозяйств. Всего лишь за неделю можно сделать аэрофотосъемку 1000 км^2 сельскохозяйственных угодий и оценить урожай.

Разработаны грандиозные программы Международной космической станции. Для нее требуют три или четыре больших долгоживущих спутника на околополярных орбитах, пересекающих экватор утром и в полдень и способных каждые несколько лет снижаться для нужд космонавтов. Их можно снабдить системами для получения изображений с разрешением около 34 м, измерений уровней моря и ледников с точностью до 2,5 см, а также определения направления ветра, влажности почвы, траектории переноса химических составляющих в атмосфере и даже наблюдения с помощью лазера за дрейфом тектонических плит. Вот какие карты могут однажды оказаться в нашем распоряжении!

Разведка стоит денег. И действительно, военные разведовательные ведомства тратят теперь кучу денег на эти «замочные скважины», позволяющие видеть в реальном времени с разрешением 15 см. По мере того как свертывается «холодная война», гарантии стратегических изменений и прекращения пугающих нас ныне локальных войн могут открыть путь на тысячелетие к дивидендам в виде базы данных. «Ландсат» после приватизации уже не предлагается по сниженным ценам, на которые когда-то готова была пойти американская администрация. Тулузский «Спот-Имидж» в коммерческом отношении оказался более выгодным: полученное на нем одно изображение стоит в 9 раз больше, чем на «Ландсате». Без солидной оплаты нельзя ни опубликовать, ни обменять ни одно изображение со «Спот». Это одна из причин, по которой в книге так мало изображений с этого спутника. Военные, изыскатели нефти и газа в разных странах — это пользователи спутниковой информации. Планы правительства Индии относительно индийского спутника «Инсат» открыли новые горизонты, и эта стратегия может оказаться привлекательной для других. Рабочие станции имеются везде и становятся дешевле. «Надежда летает на орбите»; если состоится запуск Международной космической станции, он откроет «потрясающие возможности».

Том ван Сант, «художник Земли и неба», опубликовал со своим коллегой Ллойдом ван Уорреном, специалистом по компьютерам, физическую карту Земли по изображениям, полученным широкополосной камерой «Тирос» с расстояния 830 км. Путем тщательного визуального отбора элементов изображения с файлов они составили первоклассную фотографию всей нашей Земли в безоблачный летний день, хотя на вершинах гор сверкают шапки снега. Видны веерообразные наносы ила, приносимого в море реками. Зеленые поля и леса, коричневые пустыни, голубые океаны... Здесь земной шар позирует нам — спокойный, полный жизни, представленный 32 млн. элементов изображения с разрешением 4 км.

Наука и общество

Стратегия против глобального потепления

Когда в феврале в Чэнтилли (шт. Виргиния) делегаты из 101 страны собрались на первый раунд переговоров о заключении Международного соглашения по мерам предотвращения глобального потепления, им была представлена на рассмотрение новая инициатива США. Она была изложена в прекрасно изданной брошюре с цветными иллюстрациями на мелованной бумаге, которая называется «Стратегия Америки в связи с климатическими изменениями». В ней, в частности, говорится, что администрация Буша намерена в скором времени приступить к осуществлению давно запланированной национальной политики в области энергетики.

У некоторых участников переговоров сложилось впечатление, что американская администрация может быть наконец-то начнет делать какие-то шаги в направлении принятия комплексной программы предупреждения глобального потепления и рационального использования энергии. Но это первое впечатление оказалось обманчивым. Предлагаемая стратегия в связи с климатическими изменениями не содержит в себе ничего нового. Энергетическая политика США, о которой было объявлено в феврале, отражает черты экономики эпохи Рейгана, в основном полагавшейся на поставку энергоресурсов со стороны и почти ничего не делавшей для стимулирования их эффективного расхода.

В конце переговоров Межправительственная согласительная комиссия мало о чем могла заявить после двух недель работы в Чэнтилли. Испытывавшие давление со стороны начальника аппарата Белого дома Дж. Сунуну, члены американской делегации договорились не более чем о создании двух рабочих групп: одной — для рассмотрения вопроса о том, какие «необходимые меры» могли бы быть предприняты для сдерживания потепления, а другой — чтобы решить, как эти меры провести в жизнь. «Они только определили, какой формы должен быть стол для переговоров», — с сожалением отозвался об итогах встречи М. Оппенгеймер, представлявший Фонд защиты окружающей среды.

Еще до начала конференции было ясно, что достичь прогресса в этой области будет трудно, если США, которые выбрасывают в атмосферу 20% общего количества газов, создающих парниковый эффект, будут и дальше противостоять сокращению количества таких выбросов. Несколько европейских стран, а также Австралия и Новая Зеландия еще раньше приняли у себя программу, предусматривающую снижение на 20% выбросов диоксида углерода в течение следующего десятилетия. В свою очередь Канада и Япония заявили, что они пока намерены только стабилизировать количество выбросов в своих странах. В программе США предусматривается, что уже предпринятые федеральным правительством меры позволят лишь к 2000 г. довести количество выбросов парниковых газов «до уровня, равного или несколько меньшего того, который был зафиксирован в 1987 г.». «Пока ни одна страна в мире, насколько мне известно, не может выступить с подобным заявлением», — сказал не без гордости советник президента Буша по науке Э. Бромли на пресс-конференции в Вашингтоне.

Эта «стратегия», однако, скорее похожа на прогноз, а не на обязательства, и вряд ли можно говорить, что она свидетельствует о каких-либо сдвигах в практической деятельности. США заявляют, что к 2000 г. количество выбросов не будет превышать уровня 1987 г., и это утверждение основано на новом способе расчета количества выбросов парниковых газов, который учитывает совокупное влияние многих газов на возможное потепление в будущем, а не только CO_2.

В новый перечень газов, обусловливающих возможное глобальное потепление, включены хлорфторуглероды, производство которых уже сокращается. Меры по сокращению выбросов других загрязняющих веществ и повышению эффективности использования энергоресурсов, по-видимому, позволят в течение следующего десятилетия снизить или замедлить загрязнение атмосферы другими вредными газами, такими, как метан, оксиды азота, быстро испаряющиеся органические соединения и моноксид углерода. Ожидается, что только благодаря этим планируемым мерам «вклад» США в глобальное потепление будет сохраняться постоянным в течение следующих 10 лет и только при условии, если экономика будет развиваться в соответствии с этими мерами. Если же политика США в рассматриваемой области будет оставаться такой же, как сегодня, то после 2000 г. общее количество выбрасываемых в США парниковых газов начнет вновь возрастать.

Представители США на переговорах сумели извлечь политические выгоды из нового метода расчета, успешно воспрепятствовав шагам, которые привели бы к изолированному рассмотрению источников диоксида углерода и стоков промышленных отходов. Сторонники более радикальных мер по сокращению выбросов, вызывающих парниковый эффект, выступают против этого подхода. Сорок один сенатор предложили резолюцию, выполнение которой возлагается на правительственную администрацию. Один из них Э. Гор (от шт. Теннесси), считающий своим личным долгом борьбу с глобальным потеплением, назвал эту стратегию «нечестной уловкой».

Подход американских представителей на переговорах, предусматривающий постепенное решение проблемы, был подтвержден в докладе, составленном Управлением по научно-техническим оценкам (УНТО) при конгрессе и изданном во время работы конференции в Чэнтилли. В докладе отмечается, что значительное сокращение выбросов диоксида углерода недостижимо без существенного снижения комфортности и удобств для людей. Такие сокращения, как заявил Сунуну, обрекают экономику на спад производства.

Упомянутое управление считает, что без внедрения принципиальных научно-технических новшеств США смогли бы сократить уровень выбросов диоксида углерода на 35% по сравнению с 1987 г. лишь через 25 лет. Во что это обойдется стране — пока неизвестно, хотя, как указывает УНТО, можно заранее сказать, что заплатить за это придется дорого. Если же не прибегать к очень суровым мерам и задаться целью сократить выбросы на 15% за те же 25 лет, то можно будет сэкономить немалую сумму. Напротив, если не предпринимать никаких специальных мер, то, как считает УНТО, выбросы CO_2 в США к 2015 г. увеличатся на 50%.

Технические решения, за которые выступает УНТО и которые гарантируют снижение выбросов, включают внедрение более эффективных технологий производства энергии, стимулирование перехода на использование топлив с меньшим содержанием углерода, таких, как природный газ, а также увеличение использования горючих материалов неминерального происхождения. Важной мерой в этом направлении следует считать увеличение эффективности использования энергии у конечного потребителя, где можно достичь самой высокой экономии за счет конструктивных улучшений в строительстве жилых и административных зданий, перехода к экономичным системам освещения и внедрения менее энергоемких промышленных процессов. Но для того чтобы стимулировать у потребителей и промышленных компаний стремление внедрить наиболее экономичные и экологически самые безопасные технологии, потребуются такие меры, как введение специальной системы налогообложения, предоставление дополнительных свобод в торговле, принятие соответствующих законодательных актов, а также разработка программ стимулирования и информационного обеспечения.

Такого рода рекомендации явно отсутствуют в перспективной энергетической политике правительственной администрации, которая, проявляя осторожность, сознательно избежала назвать ее «Национальной стратегией в области энергетики». Почти все ранее предложенные законы и стимулирующие меры, направленные на повышение эффективности использования топливных ресурсов и более широкое использование возобновляемых источников энергии, были изъяты из кабинетов чиновников, а потом и из Белого дома.

Официальные представители администрации заявляют, что такие предложения были характерны для законодательной деятельности в эпоху президента Картера, которая знаменует собой застой в политическом курсе Белого дома в отношении его невмешательства в экономику. (Отметим, что налоговые льготы в размере 2,5 млрд долл., предоставленные нефтяной промышленности в прошлом году, примером такой критики быть не могут.) Одно из предложений, которое никогда не позволяло назвать план Белого дома энергетической стратегией, заключалось в значительном ужесточении стандартов на эффективность использования горючего в автомобилях. Другие просчеты были допущены в узаконивании норм по эффективному использованию энергии в зданиях и мер, стимулирующих производство восстанавливаемых источников энергии. Несмотря на то что правительственная стратегия предусматривает проведение исследований, направленных на повышение эффективности исполь-

Результаты энергетической стратегии

Администрация Буша полагает, что ее инициативы в области энергетики приведут к перечисленным ниже изменениям, которые выявлены в результате анализа, проведенного на компьютере. Некоторые из них уже учтены в поправках к «Акту о чистом воздухе», принятых в 1990 г.

УВЕЛИЧИТСЯ:

— добыча нефти в США к 2000 г. на 3,8 млн баррелей в день и составит 12 млн баррелей в день;
— доля производства электроэнергии на АЭС с 20% в настоящее время до 21% к 2030 г.;
— потребление природного газа к 2000 г. на $2{,}8 \cdot 10^{20}$ куб. м, или на 3%;
— доля электроэнергии, вырабатываемой возобновляемыми источниками, на 10% к 2010 г.

СНИЗИТСЯ:

— импорт нефти на 3,4 млн баррелей в день к 2010 г.;
— общее потребление нефти в США с 22,5 млн до 19 млн баррелей в день к 2010 г.;
— объем потребления нефти на каждый миллион долларов ВНП с 2,4 до 2,0 баррелей к 2010 г.

По данным министерства энергетики США.

зования горючих материалов, никаких мер по их стимулированию не предусматривается.

Энергетическая стратегия лучше, чем что-нибудь другое, отражает внешнюю политику администрации Буша и продолжающуюся ее веру в экономику, основанную на превышении предложения над спросом. Несмотря на успешное завершение военного конфликта в зоне Персидского залива, по окончании которого цены на нефть вернулись почти к довоенному уровню, план в области энергетики предусматривает все же увеличение объема исследовательских работ в стране, особенно в Арктическом национальном заповеднике, и отмену жесткого контроля за режимом работы газопроводов и коммунальных служб электроснабжения. Администрация добивается того, чтобы производство энергии в стране можно было значительно увеличить и за счет этого поддерживать импорт энергоресурсов на уровне 40—45% общего объема потребления на протяжении всего периода до 2010 г. «Не нужно обманывать себя — война идет за энергию», — заявил сенатор от шт. Луизиана Дж. Джонстон, входящий в двухпартийную коалицию, выступающую за принятие законов, которые обязывали бы экономить и эффективно использовать энергию.

Дебаты о глобальном потеплении теперь проходят за закрытыми дверьми и продолжатся до июня, когда делегаты встретятся вновь. Тем временем политика в области энергетики будет вырабатываться в конгрессе, который, без сомнения, стремится играть заметную роль в обсуждении этой проблемы. Уже выдвинуто около 80 законопроектов, которые вновь защищают меры, отвергнутые администрацией, включая и ту, которая должна была обеспечить экономичный расход автомобильного топлива и довести его до 0,06 л/км в течение следующего десятилетия. Вполне вероятно, что дебаты будут ожесточенными. Как заявил один из официальных представителей министерства энергетики: «Для того чтобы мы меньше полагались на ископаемые виды топлива, необходимо либо повысить цену на бензин, либо установить нормы на экономичность его расхода. Пока мы не сделали ни того ни другого».

Жалость и страх

В СВОЕМ начале болезнь Альцгеймера сопряжена, как правило, с семейной драмой. Осознание того, что человек болен, приходит к его близким не сразу: еще бывают «хорошие» дни, еще больной не только частично сохраняет способность запоминать, но и отдает себе отчет в том, что теряет эту способность. Родственники не понимают, что происходит, а несчастная жертва заболевания постепенно претерпевает распад личности, утрачивает речь и в конце концов уже не может обслуживать себя. В США болезнью Альцгеймера поражены 4 млн. пожилых людей; за текущий год заболеют еще 100 тыс. человек.

Первые убедительные данные, указывающие на связь болезни Альцгеймера с определенными биохимическими изменениями, были получены в 1976 г.: обнаружилось, что при этом заболевании в некоторых областях мозга уровень фермента холин-ацетилтрансферазы бывает на 90% ниже нормального. Этот фермент участвует в синтезе нейромедиатора ацетилхолина, необходимого для памяти, и без него содержание ацетилхолина (которое невозможно надежно измерить при посмертном вскрытии) тоже падает. Отсутствием ацетилхолина в таких областях мозга, как кора и гиппокамп, которые считаются вместилищем памяти, возможно, объясняется ослабление умственных способностей, характерное для болезни Альцгеймера.

На этой, как ее называют, холинэргической гипотезе основано по крайней мере семь разрабатываемых сейчас лекарственных препаратов для лечения болезни Альцгеймера. Эти лекарства должны защищать ацетилхолин от ферментативного расщепления, стимулировать его образование или же повышать эффективность использования того количества, которое имеется в организме.

Однако некоторые специалисты считают, что рассчитывать на потенциальный эффект таких препаратов — это все равно что вычерпывать воду из прохудившейся лодки, не ликвидировав течь. Поскольку по мере прогрессирования болезни Альцгеймера нейроны, производящие ацетилхолин, выходят из строя, в качестве лечения предлагается поддерживать и восстанавливать сами клетки. Для этого изучаются возможности факторов роста нервных клеток, с тем чтобы создать имитирующие их соединения.

По мнению нейробиолога П. Дейвиса из Медицинского колледжа им. Альберта Эйнштейна, одним из первых установившего, что при болезни Альцгеймера падает уровень холин-ацетилтрансферазы, холинэргическая гипотеза слишком проста. Помимо исчезновения этого фермента наблюдаются и иные патологические явления. В мозге снижается содержание не только ацетилхолина, но и других нейромедиаторов. В то же время Дейвис отмечает, что некоторые используемые наркоманами препараты, о которых известно, что они мешают действию ацетилхолина, вызывают нарушения памяти, похожие на симптомы болезни Альцгеймера. «В свете того, что определенные соединения вызывают патологию, сходную с клинической картиной болезни Альцгеймера, имеет смысл проверить, нельзя ли восстанавливать утраченные способности путем вмешательства в холинэргическую систему», — говорит он.

Кое-что должно было проясниться в марте этого года, когда комитет Управления по контролю качества пищевых продуктов, медикаментов и косметических средств США (FDA) намеревался проанализировать результаты клинических испытаний препарата, известного под названием «когнекс», который предлагается для лечения болезни Альцгеймера. Имеющиеся данные о свойствах этого препарата противоречивы. Он представляет собой тетрагидроаминоакридин (сокращенно его называют также такрином) и ингибирует фермент ацетилхолинэстеразу, который расщепляет ацетилхолин. Когнекс широко рекламировался в конце 1986 г. после того, как в журнале "New England Journal of Medicine" было опубликовано сообщение У. Саммерса из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе о результатах проведенного им исследования, в котором участвовали 17 человек, страдавшие болезнью Альцгеймера. В январе 1991 г. FDA официально высказало неодобрение по адресу этого исследования, критикуя использовавшиеся в нем методы.

Чтобы успокоить общественность, Национальный институт геронтологии в 1987 г. обратился к фирме Warner-Lambert в Моррис-Плейнс (шт. Нью-Джерси) с просьбой провести клинические испытания когнекса двойным слепым методом. Позже в том же году FDA приняло участие в планировании исследования, охватывающего 300 пациентов с различными стадиями болезни Альцгеймера. Это исследование было вначале прекращено из-за токсичности когнекса для печени. Но представитель Warner-Lambert Э. Вулф утверждает, что данный эффект препарата зависит от дозы и с ним можно справиться. «По нашему мнению, лекарство вполне может получить официальное одобрение», — сказал он.

Вслед за когнексом на очереди другие ингибиторы ацетилхолинэстера-

зы. Компания Hoechst-Roussel рассчитывает, что в начале 1992 г. будет получено одобрение на такой препарат, носящий название велнакринмалеат и сокращенно обозначаемый HP-029. «Имеющиеся данные обнадеживают, — заявил по этому поводу Р. Аллен, один из директоров фармацевтической фирмы в Сомервилле (шт. Нью-Джерси). — Это не святая вода, но некоторым больным помогает». Сейчас в этой фирме пытаются установить, в каких конкретно случаях препарат эффективен, и количественно оценить его действие. Компания Forest Laboratories, Inc. в Нью-Йорке располагает ингибитором ацетилхолинэстеразы, называемым «синаптон», который является формой физостигмина с контролируемым высвобождением в организме; сейчас этот препарат проходит конечные этапы клинических испытаний.

В принципе поддержать уровень ацетилхолина можно как предотвращая его ферментативное расщепление, так и стимулируя его образование в мозге. Некоторые компании разрабатывают второй путь. Так, препарат DuP 996, созданный в фирме Du Pont, стимулирует высвобождение ацетилхолина из производящих его клеток, а также выделение еще двух важных нейромедиаторов — дофамина и серотонина. Д. Блок из Du Pont, занимающийся изучением рынка лекарств для центральной нервной системы, сообщил, что этот препарат, который сейчас проходит клинические испытания в нескольких учреждениях, будет опробован на всех стадиях болезни Альцгеймера, но скорее всего окажется эффективен на ранних стадиях, когда нервные клетки еще более или менее интактны.

В компании Hoechst создан препарат, обозначенный HP-749, который, по-видимому, усиливает опосредуемый ацетилхолином сигнал, благодаря чему даже ослабленный сигнал доходит до соответствующих нейронов. У животных этот препарат действует на адренэргические клетки, с нарушением функционирования которых у человека связаны, как считается, депрессия и потеря вторичной памяти. Если в клинических испытаниях, которые должны быть проведены летом текущего года, обнаружится, что он так же действует у человека при болезни Альцгеймера, появятся, по словам Аллена, основания для широкого его применения.

Альтернативный подход в стимуляции передачи нервных импульсов состоит в применении веществ-агонистов, связывающихся с рецепторами природных лигандов (скажем, ацетилхолина) и таким образом вызывающих в клетках нужную ответную реакцию. Фирма Warner-Lambert проводит предварительные испытания такого препарата, обозначаемого CI 979. Проблема здесь в том, как контролировать стимулирующий эффект. Постоянная стимуляция может необратимо «забить» нервные сети.

ПИТЕР ДЕЙВИС — один из первых исследователей, заметивших, что при болезни Альцгеймера в мозге понижено содержание некоторых ферментов. Это открытие привело к разработке лекарственных препаратов, которые проходят в настоящее время клинические испытания. (Фотография К. Хансона.)

Терапевтические методы, предполагающие применение ингибиторов и агонистов, можно сравнить с программным обеспечением, так как они действуют постольку, поскольку интактна «аппаратура» — соответствующие структуры мозга. Обеспечить поддержание этих структур в функциональном состоянии некоторые исследователи пытаются при помощи факторов роста, мишенью которых являются нервные клетки. «Мы стоим на пороге возможностей влияния на структурные изменения в мозге», — сказал нейробиолог Ф. Хефти из Университета Южной Калифорнии.

Работы в лаборатории Хефти показали, что образующиеся в мозге нейротрофические факторы способствуют функционированию холинэргических нейронов и нейронов, производящих дофамин, с недостатком которого связан паркинсонизм. Другие факторы роста — в том числе наиболее изученный из них, известный под названием фактора роста нервов, — тоже обладают стимулирующим действием.

Изучение терапевтических эффектов факторов роста, воздействующих на нервные клетки, только начинается. Хотя в принципе такие препараты могут быть очень полезными, не исключено, что они потенциально опасны; например, возможна стимуляция случайных нервных сетей, а это может ускорять утрату умственных способностей или нарушать нецентральные нервные механизмы. Кроме того, нелегко добиться поступления факторов роста в мозг. Поскольку эти белки не способны проникать через гематоэнцефалический барьер, их придется вводить в составе имплантатов непосредственно в мозговую ткань.

Но несмотря на все эти недостатки факторов роста, биотехнологические фирмы — Genentech, Synergen и Chiron, — а также фармацевтические компании Syntex и Warner-Lambert разрабатывают возможности их использования. Проверяется также ряд имитирующих факторы роста соединений — как природных, так и синтетических, — которые можно было бы вводить в организм через рот или путем инъекций.

«Необходимо строго следить за применением лекарств от болезни Альц-

геймера», — подчеркивает Дж. Маркс, являющийся исполнительным директором нью-йоркского отделения Ассоциации по изучению болезни Альцгеймера. И больные, и врачи нуждаются в защите строгих научных разработок. Маркс сказал: «Жалость и страх порождают давление ради немедленных практических результатов».

В поисках пропавшего углерода

Один из наиболее непонятных аспектов, связанных с парниковым эффектом, — это проблема «пропавшего углерода». Сжигание ископаемого топлива приводит к попаданию в атмосферу ежегодно 6 млрд. тонн углерода в форме диоксида углерода, а обезлесение и эрозия почвы — добавляют 3 млрд. тонн. Однако всего в атмосфере каждый год аккумулируется 3,5 млрд. тонн углерода, 1,5 млрд. тонн растворяется в океане. Остающиеся 4 млрд. тонн исчезают без следа.

Некоторые исследователи полагают, что разгадка этой пропажи лежит в неучтенной роли деревьев. При этом делаются ссылки на исследования, показывающие, что деревья, которые начинают быстрее расти в атмосфере с повышенной концентрацией диоксида углерода, могут поглощать больше этого газа, чем предполагается обычно.

В прошлом году Питер Танз из Национального управления по исследованию океанов и атмосферы и его коллеги пришли к выводу, на основании расчетов на компьютерах, что два или три миллиарда тонн углерода уходят в неизвестный «сток» на суше, который находится где-то в умеренных широтах Северного полушария. Одновременно эксперименты Бойда Стрейна из Университета Дюка и других показали «фертилизационный эффект» дополнительного диоксида углерода: растения растут быстрее и забирают из атмосферы больше газа.

Этот эффект, рассматриваемый применительно к лесам, может объяснить судьбу по крайней мере части пропадающего диоксида углерода. Некоторые эксперименты показывают, что при повышенной концентрации в воздухе диоксида углерода увеличивается корневая система растений. Растет ли корневая масса у деревьев — этого исследователи пока сказать наверняка не могут.

Для проверки этой гипотезы Ричард Норби из Национальной лаборатории в Ок-Ридже выращивает деревья в атмосфере с повышенной концентрацией диоксида углерода с корнями, находящимися в почве (см. фото внизу). Спустя два года, по его сообщению, у белых дубов наблюдался существенный прирост корневой массы. Тополя реагировали едва заметно, но их листья стали меньше, что, возможно, является компенсаторной реакцией.

Если деревья и накапливают пропадающий диоксид углерода в своих корнях, этот эффект не окажет существенного влияния на темпы возрастания диоксида углерода в атмосфере. Таково мнение Энтони Кинга из Ок-Риджа. Танз же считает себя оптимистом и возражает: «Отлично, природа помогает нам. Мы могли бы задержать изменение климата, выращивая леса на больших пространствах».

Тестирование при приеме на работу

В ТЕЧЕНИЕ многих лет нанимателли подвергали поступающих на работу людей письменному тестированию, чтобы проверить их знания и навыки в чтении и арифметике. В наши дни устраивающимся на работу, возможно, придется выдержать также и испытание другого характера — персональный тест, позволяющий выявить их отношение к различным ситуациям. Во многих случаях ответы закладывают в компьютер, который составляет «портрет» испытуемого и относит его к одной из нескольких категорий, такой, например, как «общительные» или «расчетливые».

Однако некоторые психологи и специалисты, занимающиеся исследованием человеческой личности, выражают опасения по поводу широкого применения такого скрининга. Тесты, разрабатываемые и поставляемые в Соединенные Штаты такими компаниями, как Institute for Personality and Ability Testing в Шампейне (шт. Иллинойс), Consulting Psychologists Press в Пало-Альто (шт. Калифорния) и Psychological Corporation в Сан-Антонио (шт. Техас), используются нанимателями для отсеивания тех, кто не подходит для секретной работы в полиции или, скажем, на АЭС. С помощью этих же тестов отбираются кандидаты с желательными чертами характера, например экстравертные личности для работы в области маркетинга.

Психолог из медицинского центра Университета Дьюка Р. Лоуман в своей книге, посвященной тестированию, указывает: «Применение тестов мало изучено, и поэтому пока нет оснований рекомендовать их широкое внедрение в практику». Лоуман считает, что «при скрининге допускаются грубые ошибки, которые травмируют отсеиваемых людей». А от лиц, проходящих скрининг, требуется наличие таких качеств, что их перечень часто напоминает «моральный кодекс бойскаута, а помимо этого требуется еще пройти проверку на профессиональную пригодность к конкретной работе». Лоуман отмечает, что один из широко распространенных тестов — «Комплекс многоэтапного исследования личности» Миннесотского университета, опубликованный в журнале "University of Minnesota Press", — был разработан для больных, помещаемых в стационар, а не для тех, кто устраивается на работу.

Кроме того, лишь немногие коммерческие персональные тесты получили одобрение в научных публикаци-

ях. По утверждению С. Блинкхорна и Ч. Джонсона, специалистов в области промышленной психологии из английской компании Psychometric Research Ltd., эти публикации изобилуют таким количеством статистических ошибок, что ставят под сомнение правомерность каких-либо прогнозов на основании большинства личностных качеств. В своей статье, помещенной в журнале "Nature" (20—27 декабря 1990 г.), они подвергли резкой критике персональное тестирование при приеме на работу и обвинили психологов в таком подходе к корреляции, который привел бы в ярость ее автора Карла Пирсона.

Обычно, как полагают британские ученые, разработчики тестов путем тщательного анализа тысяч комбинаций ответов и показателей, характеризующих качественное выполнение работы, устанавливали важные взаимосвязи между тем и другим. Но при таком подходе не исключены ошибочные корреляции, которые поставщики тестов, как правило, не замечают, а службы, занимающиеся тестированием, не удосуживаются корректировать установленные корреляции в соответствии с новыми данными. Блинкхорн и Джонсон обнаружили, что в трех широко известных коммерческих тестах большинство предполагаемых корреляций между количеством набранных очков и качеством работы, по всей видимости, оказались результатом чистого совпадения.

Другие критически настроенные ученые высказывают беспокойство по поводу применения тестов, имеющих целью установить честность человека и ставших особенно популярными после того, как в 1988 г. было запрещено использовать в сфере бизнеса проверку на полиграфе (детекторе лжи). Согласно одной из оценок, в США тестирование на честность проходят ежегодно более пяти миллионов человек. С помощью этих тестов предприниматели пытаются выявить из кандидатов на вакантные места потенциальных расхитителей собственности компании или скрытых бездельников. С этой целью людям задают вопросы об их поведении в тех или иных ситуациях в прошлом и об их отношении к различным видам воровства.

Несмотря на явную возможность обмана, некоторые поставщики тестов утверждают, что их продукция может помочь заранее предвидеть возможное исчезновение служебных документов в будущем или выявить криминальное прошлое нанимающегося на работу. Но установить истинную ценность таких тестов крайне трудно, так как воров в учреждениях редко удается разоблачить. Кроме того, авторы тестов на честность «преднамеренно ошибаются в сторону их смягчения» во избежание ложных обвинений, считает Ричард Е. Клиндженпил, руководитель бюро по проблемам занятости Personnel Selection International в Милфорде (шт. Мичиган).

Как указывается в проекте доклада Американской психологической ассоциации, посвященного тестам на честность, «лишь немногие фирмы сделали достоянием гласности отчеты об исследованиях, касающихся надежности и правомерности применения тестирования, большинство же не публиковало никаких данных». Управление по научно-технической оценке при конгрессе недавно пришло к выводу, что опубликованные данные, якобы указывающие на достоверность результатов тестирования людей на честность, ошибочны и несостоятельны.

Тем не менее основные тесты на проверку личностных качеств имеют своих сторонников, которые утверждают, что такие тесты могут быть полезными для проведения скрининга. Так, психолог Миннесотского университета П. Сэккетт считает, что персональные тесты действительно иногда используются в недобросовестных исследованиях, но нельзя утверждать, будто все исследования таковы.

В середине 80-х годов ученые пришли к единому мнению о том, что из множества личностных черт можно выделить пять-шесть более или менее устойчивых. М. Маунт, психолог в области управления из Университета шт. Айова, называет пять «главных категорий» (экстравертность, эмоциональная стабильность, сговорчивость, добросовестность и открытость опыту).

Маунт и некоторые другие психологи сообщают, что они пытаются найти хоть какую-нибудь корреляцию между личностными чертами человека и качеством его работы. Используя новый метод метаанализа, позволяющий проводить точное сравнение данных, собранных в ходе различных исследований, Маунт и его коллега Марри Р. Баррик проанализировали результаты 117 исследований, посвященных выявлению связи между личностными чертами и качеством работы. Их выводы вскоре будут опубликованы в совместной статье в журнале "Personnel Psychology". «В целом бóльшая часть личностных признаков оказалась неважным предсказателем», — утверждает Маунт. Такая черта, как добросовестность, действительно хорошо коррелирует с качеством работы. Но эта корреляция в два раза слабее той, которая получена при тестировании на выявление умственных способностей.

В течение ряда лет в американской армии ведется работа под кодовым названием «Проект А» по созданию тестов для выявления личностных качеств. На множестве людей проверяется достоверность различных тестов. Лиетта М. Хоф из Научно-исследовательского института по проблемам кадров (Personnel Decisions Research Institute) в Миннеаполисе, главный подрядчик «Проекта А», тоже использовала метаанализ для доказательства того, что на основании некоторых личностных черт можно прогнозировать умение человека справляться с порученной ему работой. Одна из таких черт, названная «зависи-

Честный ли вы человек?

Некоторые вопросы из теста на честность при приеме на работу

- Как часто вы говорите правду?
- Как часто вы убираете свою постель?
- Считаете ли вы, что достаточно честны, чтобы не присвоить чужое?
- Да или нет: мне нравится будоражить людей?
- Насколько вам не нравится исполнять чьи-либо приказания?
- Чувствуете ли вы себя виновным, когда делаете то, чего не должны делать?
- Да или нет: я часто шел против воли своих родителей?
- Считаете ли вы, что унести с работы бумагу или карандаш без разрешения — это воровство?
- Какая часть знакомых вам людей настолько честна, что никогда не пойдет на воровство?
- Как часто вы краснеете?
- Сколько ваших знакомых прибегало к обману при заполнении налоговых деклараций?
- Легко ли остаться безнаказанным, занимаясь воровством?
- В среднем, сколько раз в неделю вы ходите на вечеринки?

Источник: Управление по научно-техническим оценкам

мостью», соответствует «добросовестности» в классификации Маунта.

По мнению психолога из Манчестерского университета в Англии А. Робертсона, метаанализ действительно показывает, что «определенный эффект в применении тестов на выявление личностных черт достигается, но он невелик». Как утверждает Робертсон, правильно составленные личностные тесты дают уникальную информацию работодателям, если тестирование используется с другими формами скрининга.

Так позволит ли метаанализ получить надежные тесты, на которые возлагают надежды работодатели? Учитывая сложность подготовки специалистов по тестированию, Блинкхорн в этом сомневается. Кроме того, он обращает особое внимание на то, что если результаты, полученные Хоф, являются типичными, то, для того чтобы на работу действительно были приняты лучшие работники, тесты следует использовать более продуманно. В случае приема на работу только 10% кандидатов, набравших наибольшее количество очков, доля работников выше среднего уровня поднялась бы с 50 лишь до 59% и многие хорошие работники несправедливо получили бы отказ.

С. Мартин, психолог из издательства "London House", Парк-Ридж (шт. Иллинойс), выпускающего тесты, признает, что непопулярность тестов на проверку личностных качеств человека объясняется, вероятно, подозрениями в том, что их применение не гарантирует правильного отбора при приеме на работу. «Стоит только что-нибудь признать объективным, как у людей появляется предмет для критики», — говорит Мартин. В то же время он утверждает, что при использовании даже неудачного теста ошибочных отказов достойным кандидатам будет меньше, чем при отборе вслепую.

Однако на практике аргументы Мартина могут оказаться несостоятельными. Хотя некоторые распространители тестов для отбора кандидатов при приеме на работу и отмечают, что их тесты должны применяться в комплексе с другими формами проверки характера и способностей человека, такими, как личные беседы, в реальной жизни они часто используются не в дополнение, а вместо них. Таким образом, это может оказаться шагом назад. Представитель Американского союза борьбы за гражданские свободы Л. Молтби выражает опасение, что в результате применения тестов может появиться многочисленная группа людей, не способных работать по найму, поскольку, согласно тестам, они окажутся «нечестными» или не будут подходить для работы по другим причинам. Если эти опасения оправдаются, от псевдопсихологии пострадают как работодатели, так и работники.

Нули и единицы вместо точек и тире

Ти-ти-ти, та-та-та, ти-ти-ти. Помогите! Не будет ли вскоре сигнал SOS передаваться не точками и тире, а в двоичном цифровом коде в виде 1010011 1001111 1010011? Не обречена ли на забвение традиционная азбука Морзе, существующая со времен первых телеграфных передач?

Этот вопрос можно адресовать Федеральной комиссии связи (ФКС), которая не далее как 14 февраля ввела для радиолюбителей новый вид лицензии, не требующий проверки на знание азбуки Морзе. (Определенные требования к знанию кодов все же предусматриваются в лицензиях, разрешающих любительскую радиосвязь в коротковолновом диапазоне (на частотах до 30 МГц), который используется для связи на любые расстояния.)

Лицензия, не требующая умения владеть каким-либо кодом, в течение многих лет встречала сопротивление со стороны полумиллиона радиолюбителей США отчасти из-за того, что она могла нарушить коллективное и равноправное владение той или иной лицензией. Проверка на знание и умение пользоваться азбукой Морзе также рассматривалась как обязательство по соблюдению множества правил работы операторов радиолюбительской связи; на то, чтобы выдержать экзамен и передать по крайней мере 5 слов в минуту, нужно обучаться в течение нескольких недель.

В 1983 г., когда ФКС в последний раз опросила общественность относительно введения нового класса лицензий и установила, что противников было в 25 раз больше, чем сторонников, она перестала настаивать на своем предложении. «Существовала опасность, что в жертву будут принесены сложившиеся традиции в области любительской радиосвязи», — заявил Д. Самнер, исполнительный вице-президент Американской лиги радиолюбителей — самой большой непрофессиональной организации в стране, насчитывающей 160 тыс. членов.

Именно эта лига предложила в 1989 г. внести данное новшество в основном потому, что в связи с растущей популярностью компьютерных средств связи любительская радиосвязь в отведенных для нее диапазонах стала быстро превращаться в беспроволочную электронную почту. Десятки тысяч новых пользователей так называемого пакетного радио ежегодно передают компьютерные данные по эфиру. Спектр радиочастот стал также более плотным. «Появилось опасение, что если мы не продемонстрируем бóльшую благожелательность по отношению к новичкам, некоторые из наших частот будут переведены в диапазон коммерческой радиосвязи», — сказал Самнер.

Приверженцы пакетного радио, называемые пакетчиками, теперь могут подписаться на использование новой лицензии. Посылая компьютерное сообщение через один из любительских спутников, они могут связаться с любой точкой земного шара, не нарушая ограничений на использование коротковолнового диапазона. Любители установили также 10 тыс. радиоретрансляторов на территории США, которые позволяют передачам на очень высоких частотах «перескакивать» с одного ретранслятора на другой.

Первый телеграфный ключ Морзе (из коллекции Грангера).

Код Морзе (который в действительности был составлен его компаньоном Альфредом Вейлом) пока еще будет использоваться в диапазоне коротких волн. А потому можно надеяться, что радиолюбители еще смогут поддерживать связь между собой с помощью телеграфного ключа. Самнер сравнивает это с плаванием под парусами: «Люди получают больше удовольствия, когда плывут под парусами, а не под шум урчащего мотора».

Новая защита от химического оружия

Год назад Управлению по материально-техническому обеспечению министерства обороны США пришлось настаивать на сохранении в бюджете пункта об оплате контракта на сумму 2,5 млн. долл. с фирмой Abbott Laboratories в Чикаго, чтобы снабдить армию атропином, являющимся противоядием от нервного газа. Но времена изменились. Начиная с августа 1990 г. вооруженные силы США заключили договора в общей сложности на миллиард атропиновых инжекторов стоимостью 4,3 млн. долл. и кроме этого искали дополнительных поставщиков.

Однако даже полное обеспечение личного состава армии атропиновыми инжекторами не гарантирует надежной защиты от химического оружия. Существующие противоядия от фосфорорганических соединений нервно-паралитического действия — важнейшего военного и террористического химического оружия — неудобны в употреблении и часто вызывают негативные побочные эффекты. Поэтому военные развернули исследования, направленные на создание новых средств против воздействия нервных газов на организм человека. Активно разрабатываются средства «иммунизации» препаратами, полученными при помощи методов генетической инженерии. Если эти работы окажутся успешными, солдаты избавятся от мешающего движениям и дыханию снаряжения. Кроме того, итоговая эффективность химического оружия противника понизится. Конечно, такая «вакцина» появится только через годы. Однако угроза применения химического оружия, скорее всего, сохранится еще долго.

При военных действиях в Персидском заливе американские солдаты носили набор «Марк I», в который входит 6 аутоинжекторов — 3 содержащих по 2 мг атропинцитрата и 3 — по 600 мг пралидоксимхлорида. Первое вещество связывается с действующим началом нервно-паралитического газа, предотвращая его воздействие на фермент ацетилхолинэстеразу, играющую важную роль в процессе передачи нервных импульсов. Второе соединение «спасает» молекулы фермента, уже связавшиеся с губительным агентом. В полевую аптечку воина входит также противосудорожное средство, родственное известному препарату валиуму (седуксену) и профилактическое средство от заболевания, называемого миастенией гравис, которое характеризуется мышечной слабостью.

Если верить военным, наборы противоядий, которыми сейчас оснащена армия США, обеспечивают адекватную защиту от химического оружия. Однако чтобы воспользоваться этими средствами, солдат должен, заметив признаки применения агента нервного действия, остановиться в ходе боя. Противоядие необходимо вводить в организм не позже чем через 2 мин — в противном случае есть риск получить летальную дозу. Кроме того, существующие препараты несколько ослабляют точность движений, что опасно в боевой обстановке, где требуется мгновенная реакция.

Исследователи пытались найти более удобные и эффективные способы введения лекарственного препарата в организм, в том числе предлагались автоматические инжекторы с фиксированным режимом работы, пластыри, пропитанные противоядием, которое проникает через кожу, мази местного действия. Но на самом деле нужно вообще исключить применение противоядий. «Превентивная защита была бы на голову выше всех нынешних защитных средств», — сказал подполковник Р. Солана, возглавляющий фармацевтические работы в Научно-исследовательском институте химической защиты на испытательном полигоне в Абердине (шт. Мэриленд).

Простейший путь превентивной защиты от нервно-паралитических агентов — это инъекции ацетилхолинэстеразы (или бутирилхолинэстеразы, которая тоже связывается с нейротоксином). В сентябре прошлого года Биотехнологическая корпорация в Нью-Йорке заключила с Военно-санитарным управлением ВВС США трехгодичный контракт на разработку препарата ацетилхолинэстеразы путем генетической инженерии. Но такой препарат будет иметь существенный недостаток: у фермента большие молекулярные размеры, и для достижения эффекта потребуются инъекции в больших дозах.

Более подходящим представляется иной подход: введение в организм агента, который бы постоянно циркулировал в кровотоке и связывал нейротоксин еще до того, как тот достигнет молекул ацетилхолинэстеразы. Разработка рекомбинантных антител, которые будут инъецироваться в приемлемых дозах, входит в программу, осуществляемую под руководством Соланы на абердинском полигоне.

Военные отказались дать конкретную информацию об этих работах. Но известно, что армейские исследователи пытаются получить долгоживущие антитела, способные обратимо связываться с нейротоксином и таким образом нейтрализовать его молекулы одну за другой. Конечная цель этих работ — создание структур, копирующих участок молекулы ацетилхолинэстеразы, в котором связываются нейротоксины. Но до ее достижения пройдет еще не один год.

Тем временем в Центре по химическим и инженерным исследованиям в Эджвуде (это часть абердинского полигона), а также в ряде академических учреждений работают над созданием новых полевых детекторов, которые бы реагировали на малейшие количества токсинов. Располагая таким датчиком, солдат на поле боя имел

ПРОТИВОЯДИЕ ОТ НЕРВНЫХ ГАЗОВ имели в своем снаряжении американские солдаты во время военных действий в Персидском заливе. (Источник: Tannenbaum/Sygma.)

бы больше времени на то, чтобы надеть защитное снаряжение.

Но ручные детекторы и прикрепленные к одежде бумажные индикаторы могут реагировать лишь на известные токсины. Сотрудник упомянутого центра Дж. Валдес возглавляет рассчитанную на 10 лет программу стоимостью несколько миллионов долларов, которая предполагает использование биотехнологических методов для выявления любого химического или биологического токсина, какой только может быть у противника. В таких детекторах фермент в гелевом носителе связан с электронным преобразователем. Когда фермент связывается с токсином, изменяются определенные его свойства, что детектируется преобразователем. Уже сделаны опытные образцы датчиков, которые могут определять присутствие токсина в концентрациях порядка 10^{-15} М за несколько секунд. Однако массовое производство таких биодатчиков для применения в полевых условиях станет реальным лет через 5—8, так как трудно получать синтетические ферменты, обладающие длительной стабильностью. Конечно, следует разрабатывать более совершенные преобразователи, которые бы выдерживали условия на «поле брани».

Несмотря на трудности, специалисты по химическому оружию — этому самому антигуманному средству уничтожения — настроены весьма оптимистично. «В 1985 г., когда мы только начали свои работы, военные смеялись над нами, — вспоминает Валдес. — Говорили, что единственный возможный биодатчик — это сотни мертвых солдат и медики, освидетельствующие их. Теперь же биодатчики — практическая реальность».

УВАЖАЕМЫЕ ПОДПИСЧИКИ!

По всем вопросам доставки журнала «В мире науки» просим обращаться в Центральное агентство зарубежных изданий «Союзпечать».

129110 ГСП Москва,
Безбожный пер.,
д. 19, корп. 16
тел. 280-89-87, 280-90-88, 280-88-11.

Древние мастера

Точное определение возраста изображений забавных фигурок, тучных женщин, духов и абстрактных символов на стенах пещер и скалах долгое время оставалось серьезной проблемой для археологов. Датировка пиктограмм была возможной лишь на основании косвенных доказательств. Ученые находят ключи к отгадке в археологической среде и веществах, отложившихся на разрисованных поверхностях. Они также могут вычислять ориентировочный возраст работы древнего художника по ее стилю и содержанию.

Химики из Техасского университета A&M разработали более точный метод. Марвин Роу и его коллеги используют радиоуглеродную датировку для определения возраста пиктограмм, обнаруженных в юго-западной части Техаса. Полученные ими результаты, как утверждают авторы в журнале Nature, свидетельствуют о том, что этот метод можно использовать для точного определения возраста любых наскальных рисунков, содержащих органические компоненты.

Метод радиоуглеродной датировки, использующий явление распада встречающегося в природе изотопа углерода, позволяет установить возраст органических веществ с точностью до 100 лет. Ранее этот метод не находил широкого применения при изучении пиктограмм, так как было трудно отличить углерод, содержащийся на рисунках, от углерода, находящегося в самой скале. Однако ученые нашли способ разделения двух типов углерода, помещая небольшую пробу краски в кислородную плазму. Кислород избирательно реагирует на углерод, содержащийся в краске. Получающийся в результате газ затем преобразуется в графит, который подвергается датировке.

Антрополог Гарри Д. Шейфер первым обратился за помощью к Роу в определении возраста рисунков на стенах пещер в Лоуэ-Пекосе (юго-запад Техаса). Найденные там пигменты в основном относятся к окисям железа и марганца, в которых отсутствует органический углерод. Шейферу было известно, что в другой группе рисунков, найденных в районе Фор-Конез (шт. Юта), содержится связующее органическое вещество, и он предположил, что доисторические жители Техаса использовали такие же методы для приготовления краски.

В качестве связующих веществ часто применялись такие органические компоненты, как кровь, яйца, растительные масла и смолы, животные жиры, молоко, мед и мочу. Такие вещества поддаются точной датировке. Группе специалистов из Техаса удалось экстрагировать углерод из небольшого кусочка краски, отставшего от стены пещеры. В лаборатории в Цюрихе этот образец был датирован временем, отстоящим от нас на 3 865±100 лет. По утверждению Шейфера, эта цифра совпадает с датой, полученной путем археологического анализа.

Шейфер надеется получить более точную хронологию древнего наскального искусства путем датировки рисунков, характерных для каждого периода. «Используя этот метод для датировки стилевых различий пещерных рисунков, — говорит он, — мы сможем лучше понять преемственность развития культуры древних народов».

Найса Геллер

Вниманию читателей!

ВВЕДЕНИЕ В ГЕОХИМИЮ

Перевод с английского

Р. Схёйлинг, П. Андерссен, Р. Крёллен и др.

Коллективная монография геохимиков из Нидерландов под руководством Р. Схёйлинга продолжает традиции голландской школы физико-химиков и вводит читателя в круг проблем физической геохимии, геохимических проблем качества окружающей среды, моделирования природных процессов и классической геохимии — круговорота элементов, цикличности, состава планеты. В ней также излагаются идеи организации процессов переработки и захоронения отходов химических заводов с учетом геохимических закономерностей развития природных процессов. Значительное внимание уделяется проблемам и определениям химической кинетики.

Написана доступно и просто, содержит большое количество наглядных примеров и расчетов и включает практически все разделы базового курса геохимии для студентов-геологов. Сочетающая высокий научный уровень и ясность изложения книга рассчитана на читателей, впервые открывающих курс геохимии, и практически не требует специальной подготовки. Авторы ограничились минимумом формул, но постарались предельно доходчиво объяснить их смысл и способы использования.

Для геохимиков и геологов всех специальностей, а также для химиков, металлургов, энергетиков и горняков; может служить учебным пособием по курсу геохимии.

1992 г. Цена 1 р. 36 к.

Эту книгу вы сможете заказать в магазинах научно-технической литературы.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР»

Зеленая стратегия США

МАЙКЛ Э. ПОРТЕР

СНИЖАЮТ ли принимаемые в США строгие законы об охране окружающей среды конкурентоспособность американской промышленности на мировом рынке? Многие специалисты считают, что да, снижают. Директор Управления по менеджменту и бюджету Р. Дарман мудро замечает: «В нынешнем столетии американцы не вели и не выигрывали войн за то, чтобы сохранить планету в том виде, в каком ее земля способна давать урожаи».

Противоречие между охраной окружающей среды и обеспечением конкурентоспособности — это ложное противопоставление. Оно порождено узостью взглядов на источники экономического процветания и консерватизмом в подходе к конкуренции.

Жесткие законы, направленные на охрану окружающей среды, совсем не обязательно должны препятствовать превосходству в рыночной борьбе с иностранными производителями; в действительности они зачастую способствуют повышению конкурентоспособности. Строгие законы вызывают потребность в нововведениях и обновлении техники. В моей книге «The Competitive Advantage of Nations», посвященной вопросам обеспечения конкурентоспособности, я утверждаю, что государства, где действуют самые суровые законы об охране окружающей среды, часто лидируют в экспорте продукции, предназначенной для этих целей.

Если когда-то США были лидирующей страной в принятии жестких требований, то сейчас это первенство они начинают уступать. Вплоть до 1990 г., когда был принят «Акт о чистом воздухе», на подготовку которого ушло 12 лет, конгресс, начиная с середины 70-х годов, принял очень мало законодательных актов, касающихся охраны окружающей среды. Сегодня США остаются единственной промышленно развитой страной, не наметившей никакого курса в отношении снижения уровня диоксида углерода в атмосфере, и в большинстве других направлений лидирующее положение этой страны в введении жестких норм в сфере борьбы с загрязнением среды уже утрачено. Даже Япония, которую многие считают страной мало заботящейся об охране окружающей среды, опередила США по многим важным направлениям в этой области. Действующие в Японии нормы на выбросы NO_x автомобилями во много раз более жесткие по сравнению с нормами, принятыми в США и в Европе: в Японии установлены среднечасовые нормы на выбросы NO_x и SO_x в течение дня, а не на год, как в США и в других странах.

В результате того что другие страны в рассматриваемой области ушли вперед, торговля США пострадала. Так, в Германии действуют, пожалуй, самые жесткие правила в отношении постоянного контроля за степенью загрязнения воздуха, и как следствие немецкие компании удерживают лидирующее положение в патентовании (а стало быть и в экспорте) технических средств и методов контроля охраны окружающей среды и чистоты воздуха. Не менее 70% всего продаваемого сейчас в США оборудования, предназначенного для контроля степени загрязнения воздуха, производится иностранными компаниями. Еще одна страна, о которой нельзя не сказать, — это Великобритания. За счет того, что действующие в этой стране нормы значительно ниже, чем в других странах, отношение объема экспортных поставок к импорту природоохранных технологий в торговом балансе страны за последние 10 лет сократилось с 8:1 до 1:1.

В то же время США лидируют в тех областях, в которых в стране действуют самые жесткие нормы, например в отношении применения пестицидов или устранения ущерба, нанесенного окружающей среде. Подобное лидерство следует приумножать и распространять на другие стороны в данной области. В охране окружающей среды заинтересован весь мир. Это та область, в которую все крупные страны вкладывают все больше средств (только в Европе на эти цели ежегодно расходуется 50 млрд долл.), и на долю которой приходится огромный объем экспортных поставок. Без конкурентоспособных технологий Соединенные Штаты не только замедлят темпы промышленного роста, но и будут вынуждены все в больших масштабах импортировать природоохранные технологии.

Строгие законодательные акты по охране окружающей среды могут содействовать повышению конкурентоспособности не только в сфере производства природоохранной техники. На первый взгляд может показаться, что жесткие нормы ведут к удорожанию производства и снижают конкурентоспособность фирм, особенно в тех случаях, когда конкурирующими являются фирмы в странах, где действуют менее строгие правила. Это может быть справедливым в том случае, когда все остается без изменений, за исключением того, что дополнительно устанавливается дорогостоящее очистное оборудование.

Но при введении более строгих норм ничто не остается прежним. Хорошо продуманные и тщательно рассчитанные допустимые нормы, которые направлены на достижение конкретного результата, а не просто преследуют желание внедрить тот или иной метод, будут стимулировать компании модифицировать свое производство. В большинстве случаев за этим следует внедрение технологических процессов, которые не только дают меньшее количество вредных отходов, но и позволяют снизить себестоимость или повысить качество выпускаемой продукции. Производственные процессы модифицируютя таким образом, что они ведут к снижению потребления редких дефицитных материалов или токсичных веществ, а также к росту масштабов вторичной переработки отходов. По оценкам компании 3М, например, осуществляемая ею программа «Предотвращения излишних расходов на оплату санкций, налагаемых за превышение вредных выбросов» позволила сэкономить 482 млн долл. за период с 1975 г. и исключить наработку более 500 тыс. т отходов и вредных выбросов, что позволило дополнительно сэкономить 650 млн долл. за счет снижения энергопотребления.

Строгие ограничения на выпуск определенной продукции также могут стимулировать внедрение новшеств, гарантирующих выпуск товаров, меньше загрязняющих среду или более ресурсосберегающих, получающих признание на международных рынках. Так, в результате предложенного США отказа от производства продукции, содержащей хлорфторуглероды (CFC), Du Pont и другие американские фирмы первыми стали искать заменители этого вредного соединения.

Нельзя сказать, что все компании с

удовлетворением отнесутся к ужесточению мер по охране окружающей среды: кратковременное увеличение производственных издержек и необходимость модернизации выпускаемой продукции и производственных процессов по меньшей мере нарушат установившийся рабочий режим и вызовут определенное беспокойство. Неприятие более жестких нормативных показателей будет сильнее всего проявляться со стороны тех отраслей, которые испытывают наибольшее давление со стороны зарубежных конкурентов. А таких отраслей в США сейчас немало. Автомобильная промышленность, например, активно сопротивляется требованиям о повышении эффективности использования топлива, несмотря на то что соблюдение этих требований способствовало бы появлению различных новшеств и повысило бы конкурентоспособность американских автомобилей.

Самым убедительным доказательством того, что забота об охране окружающей среды не влияет на снижение конкурентоспособности, может служить экологическая обстановка в странах, где действуют самые строгие законы. В Германии и Японии, например, приняты очень строгие нормы, и обе страны продолжают опережать США по темпам роста валового национального продукта и темпам роста производительности труда. Япония занимает передовое место в мире в области разработки оборудования, предназначенного для контроля степени загрязнения окружающей среды, очистных сооружений и внедрению более производительных процессов. Следует отметить, что в США многие отрасли, расходующие наибольшие средства на охрану окружающей среды, сумели улучшить свое положение в международной торговле; это такие отрасли, как производство химических веществ, пластмасс, синтетических материалов, тканей и лакокрасочных материалов.

Для того чтобы меры по охране окружающей среды не снижали конкурентоспособности, а содействовали ее повышению, необходима система разумных правил. Они в большей степени должны быть направлены на предупреждение вредоносных акций, а не на борьбу с нежелательными последствиями. Они не должны сдерживать применение средств, необходимых для их выполнения, в противном случае всякое нововведение будет обречено на провал. Кроме того, устанавливаемые нормативы должны быть чувствительны к затратам, неизбежным при их соблюдении, и чтобы само соблюдение их было экономически выгодным.

Поскольку действующие в США правила по охране окружающей среды зачастую нарушают эти принципы, огромные средства, которые мы тратим на природоохранные цели, пока не дают тех выгод, которых следовало бы ожидать. Так, в 70-х годах нормы, относящиеся к качеству воздуха, поощряли установку высоких дымовых труб (около 300 м) на промышленных предприятиях, и тем самым решение проблемы сводилось к выбросу загрязнений за пределы той или иной промышленной зоны, а отнюдь не к снижению их количества. Даже сегодня большинство действующих норм таково, что их соблюдение достигается просто за счет установки дополнительного оборудования в конечном звене технологического процесса, т. е. на его выходе.

Возрождение заботливого отношения к окружающей среде, стало быть, следует рассматривать не как повод для тревоги, а как важный шаг на пути к возвращению США былого первенства в области природоохранных технологий. Агенство по охране окружающей среды должно видеть свою задачу в создании стимулов для вложения средств и внедрения различных научно-технических новаций, а не просто в том, чтобы устанавливать различные ограничения.

От наивного представления, будто введение более строгих норм неизбежно вызовет дополнительные расходы, и от бытующего среди многих компаний враждебного отношения к тем, кто эти нормы устанавливает, следует отказаться. Защита окружающей среды может способствовать росту конкурентоспособности американской промышленности, если США для достижения этой цели изберут правильную дорогу.

Библиография

РЕАЛЬНАЯ СТОИМОСТЬ ЭНЕРГИИ

BLUEPRINT FOR A GREEN ECONOMY. David Pearce, Anil Markandya and Edward B. Barbier. London Environmental Economics Centre, Earthscan Publications, 1989.

SOCIETAL COSTS OF ENERGY: A ROUNDTABLE. Boulder, Colo., American Solar Energy Society, 1989.

THE ENVIRONMENTAL COSTS OF ENERGY SUPPLY: A FRAMEWORK FOR ESTIMATION. Alan Krupnick. Resources for the Future, 1990.

ENVIRONMENTAL ECONOMICS: A SURVEY. Maureen L. Cropper and Wallace E. Oates. Resources for the Future, 1990.

СТРУКТУРА КВАЗИКРИСТАЛЛОВ

ICOSAHEDRAL CRYSTALS: WHERE ARE THE ATOMS? Per Bak in *Physical Review Letters*, Vol. 56, No. 8, pages 861—864: February 24, 1986.

QUASICRYSTAL EQUILIBRIUM STATE. Michael Widom, Katherine J. Strandburg and Robert H. Swendsen in *Physical Review Letters*, Vol. 58. No. 7, pages 706—709; February 16, 1987.

INTRODUCTION TO QUASICRYSTAL. Edited by Marko V. Jaric. Academic Press, 1988.

Al-Cu-Ru: AN ICOSAHEDRAL ALLOY WITHOUT PHASON DISORDER. C. A. Guryan, A. I. Goldman, P. W. Stephens, K. Hiraga, A. P. Tsai, A. Inoue and T. Masumoto in *Physical Review Letters*, Vol. 62, No. 20, pages 2409—2412; May 15, 1989.

DYNAMICAL PHASONS IN A PERFECT QUASICRYSTAL. Peter A. Bancel in *Physical Review Letters*, Vol. 63, No. 25, pages 2741—2744; December 18, 1989.

EXTENDED ICOSAHEDRAL STRUCTURES. Edited by Marko V. Jaric and Dennis Gratias. Academic Press, 1989.

Калугин П. А., Китаев А. Ю., Левитов Л. С. $Al_{86}Mn_{14}$ — ШЕСТИМЕРНЫЙ КРИСТАЛЛ. — Письма в ЖЭТФ, 1985, т. 41, с. 119.

Duneau M., Katz A. QUASICRYSTALS AS PROJECTED STRUCTURES, Physical Review Letters, 1985, Vol. 54, page 2688.

Elser V. ACTA CRYSTALLOGRAPHY, 1986, Vol. A42, page 36.

Audier M., Guyot P. PROCEEDINGS OF THE ANNIVERSARY ADRIATICO RESEARCH CONFERENCE ON QUASICRYSTALS, World Scientific, Trieste (Italy), 1990, page 74.

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ЗАСТЕЖКИ-«МОЛНИИ» И РЕГУЛЯЦИЯ ГЕНОВ

THE LEUCINE ZIPPER: A HYPOTHETICAL STRUCTURE COMMON TO A NEW CLASS OF DNA BINDING PROTEINS. W. H. Landschulz, P. F. Johnson and S. L. McKnight in *Science*, Vol. 240, pages 1759—1764; June 24, 1988.

EUKARYOTIC TRANSCRIPTIONAL REGULATORY PROTEINS. Peter F. Johnson and Steven L. McKnight in *Annual*

Review of Biochemistry, Vol. 58, pages 799—839; 1989.

EVIDENCE THAT THE LEUCINE ZIPPER IS A COILED COIL. E. K. O'Shea, R. Rutkowski and P. S. Kim in *Science*, Vol. 243, pages 538—542; January 27, 1989.

THE DNA BINDING DOMAIN OF THE RAT LIVER NUCLEAR PROTEIN C/EBP IS BIPARTITE. W. H. Landschulz, P. F. Johnson and S. L. McKnight in *Science*, Vol. 243, pages 1681—1688; March 31, 1989.

ACTION OF LEUCINE ZIPPERS. Ted Abel and Tom Maniatis in *Nature*, Vol. 341, No. 6237, pages 24—25; September 7, 1989.

SCISSORS-GRIP MODEL FOR DNA RECOGNITION BY A FAMILY OF LEUCINE ZIPPER PROTEINS. C. R. Vinson, P. B. Sigler and S. L. McKnight in *Science*, Vol. 246, pages 911—916; November 17, 1989.

БЕССТОЛКНОВИТЕЛЬНЫЕ УДАРНЫЕ ВОЛНЫ

SHOCK WAVES IN COLLISIONLESS PLASMAS. D. A. Tidman and N. A. Krall. Wiley-Interscience, 1971.

UPSTREAM WAVES AND PARTICLES. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 86, No. A6, pages 4319—4529; June 1, 1981.

Основы физики плазмы. Под редакцией Р. З. Сагдеева, М. Н. Розенблюта. —М.: Энергоатомиздат, 1983.

COLLISIONLESS SHOCKS IN THE HELIOSPHERE: REVIEWS OF CURRENT RESEARCH. Edited by Bruce T. Tsurutani and Robert G. Stone. American Geophysical Union, 1985.

Заславский Г. М., Сагдеев Р. З. Введение в нелинейную оптику: От маятника до турбулентности и хаоса. — М.: Наука, 1988.

ВИРУС ГЕПАТИТА В

ADVANCES IN HEPATITIS RESEARCH. Edited by Francis V. Chisari. Masson Publishing USA, 1984.

HEPATITIS B. Edited by Robert J. Gerety. Academic Press, 1985.

THE HEPATITIS B VIRUS. Pierre Tiollais, Christine Pourcel and Anne Dejean in *Nature*, Vol. 317, No. 6037, pages 489—495; October 10, 1985.

THE MOLECULAR BIOLOGY OF THE HEPATITIS B. VIRUSES. Don Ganem and H. E. Varmus in *Annual Review of Biochemistry*, Vol. 56. pages 651—693; 1987.

VIRAL HEPATITIS AND LIVER DISEASE. Edited by Arie J. Zuckerman. Alan R. Liss, Inc., 1988.

ФОТОХРОМНЫЕ И СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СТЕКЛА

FULL-COLOR PHOTOSENSITIVE GLASS. S. Donald Stookey, George H. Beall and Joseph E. Pierson in *Journal of Applied Physics*, Vol. 49, No. 10, pages 5114—5123; October 1978.

DISCONTINUOUS/CONTINUOUS METAL FILMS GROWN ON PHOTOSENSITIVE GLASS. D. M. Trotter, Jr., and D. W. Smith in *Applied Physics Letters*, Vol. 45, No. 1, pages 112—114; July 1, 1984.

PHOTOCHROMATIC GLASSES. R. J. Araujo and N. F. Borrelli in *Optical Properties of Glass*. Edited by D. R. Uhlmann and N. J. Kreidl. Academic Press, 1990.

КАК БЕГАЛИ ДИНОЗАВРЫ

MECHANICS OF POSTURE AND GAIT OF SOME LARGE DINOSAURS. R. McN. Alexander in *Zoological Journal of the Linnean Society*, Vol. 83, No. 1, pages 1—25; February 1985.

DYNAMICS OF DINOSAURS AND OTHER EXTINCT GIANTS. R. McNeill Alexander. Columbia University Press, 1989.

DINOSAUR TRACKS. Tony Thulborn. Chapman and Hall, 1990.

ТРУДНЫЕ СЛОВА

TYPOLOGY, RELATIONSHIP AND TIME. Edited and translated by Vitalij V. Shevoroshkin and T. L. Markey. Karoma Publishers, 1986.

LANGUAGE IN THE AMERICAS. Joseph H. Greenberg. Stanford University Press, 1987.

IN SEARCH OF THE INDO-EUROPEANS: LANGUAGE, ARCHAEOLOGY AND MYTH. J. P. Mallory. Thames and Hudson, 1989.

LANGUAGE AND SPECIES. Derek Bickerton. University of Chicago Press, 1990.

UNIQUELY HUMAN: THE EVOLUTION OF SPEECH, THOUGHT AND SELFLESS BEHAVIOR. Philip Lieberman. Harvard University Press, 1991.

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА

SYMMETRICAL GAITS OF HORSES. Milton Hildebrand in *Science*, Vol. 150, pages 701—708; November 5, 1965.

HOW MAMMALS RUN: ANATOMICAL ADAPTATIONS. P. Gambaryan. Wiley, 1974.

NEURAL CONTROL OF RHYTHMIC MOVEMENTS IN VERTEBRATES. Avis H. Cohen, S. Rossignol and S. Grillner. Wiley, 1988.

A SYNERGETIC THEORY OF QUADRUPEDAL GAITS AND GAIT TRANSITIONS. G. Schöner, W. Y. Jiang and J. A. S. Kelso in *Journal of Theoretical Biology*, Vol. 142, No. 3, pages 359—391; February 9, 1990.

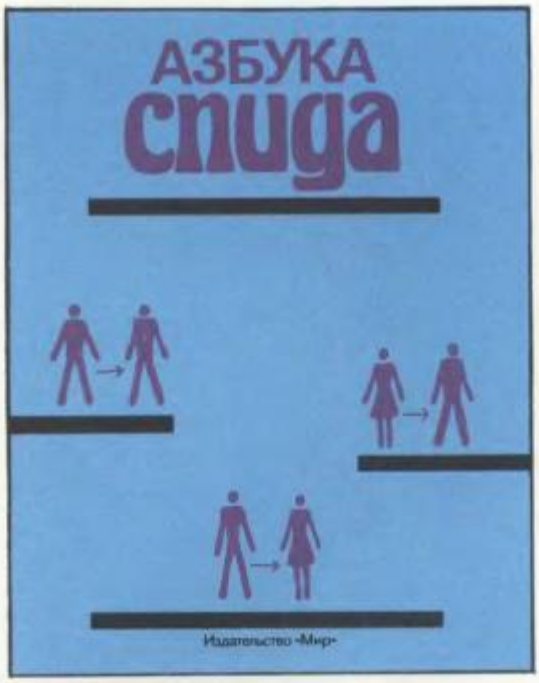
В МИРЕ НАУКИ

Подписано в печать 06.06.91.
По оригинал-макету. Формат 60 × 90 ¼.
Гарнитуры таймс, гелиос.
Офсетная печать.
Объем 6,25 бум. л.
Бумага офсетная №1.
Усл.-печ. л. 12,50.
Уч.-изд. л. 16,01.
Усл. кр.-отт. 51,50.
Изд. № 25/8264. Заказ№534.
Тираж 13785 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

Вниманию читателей!

АЗБУКА СПИДа

Перевод с английского
Под ред. М. Адлера



В книге английских авторов в доступной и чрезвычайно наглядной форме изложены все основные аспекты проблемы СПИДа: биология вируса — возбудителя заболевания, эпидемиология, диагностика и клинические проявления болезни, социальные вопросы, тактика предупреждения заражения.

Для иммунологов, вирусологов, широкого круга медицинских работников, всех интересующихся проблемой СПИДа.

1991 г. 8 л. Цена 3 р. 50 к.

Эту книгу вы сможете приобрести в магазинах научно-технической и медицинской книги. Магазин № 5 Ленгорторга (191040 Ленинград, Пушкинская ул., 2) высылает книгу наложенным платежом.

Книга продается в издательстве за наличный расчет, а для организаций по перечислению. Адрес издательства: 129820, ГСП, Москва, И-110, 1-й Рижский пер., 2. Тел. для справок: 286-83-88, 286-84-55. Расчетный счет издательства: 362305 в Коммерческом народном банке (1-у ОПЕРУ МГУ ЖСБ). Уч. 30 Ф. 19101.

3 р. 00 к.

В следующем номере:

КРЕМНИЕВАЯ СЕТЧАТКА

ЭНИОНЫ: НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ В КВАНТОВОЙ ФИЗИКЕ

РЕНЕ ЖЮЛЬ ДЕБО

РЕГИДРАТАЦИОННАЯ ТЕРАПИЯ ПРИ ДИАРЕЕ

ОБРАЗОВАНИЕ РУД

ГЕНЕТИКА АНГЛИЙСКИХ ЧИСТОКРОВНЫХ ЛОШАДЕЙ

РАЗВИТИЕ ТЕХНИКИ НА БЛИЖНЕМ ВОСТОКЕ
В СРЕДНИЕ ВЕКА

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ: ОЧИСТКА УГЛЯ

ТЕОРИЯ ЖЕСТКОСТИ, ИЛИ КАК ЗАСТРАХОВАТЬ СЕБЯ
ОТ НЕОЖИДАННЫХ АВАРИЙ

ISSN 0208—0621. В МИРЕ НАУКИ. 1991 № 6. 1—96.