

В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN

Издание на русском языке



Сентябрь **9** 1986

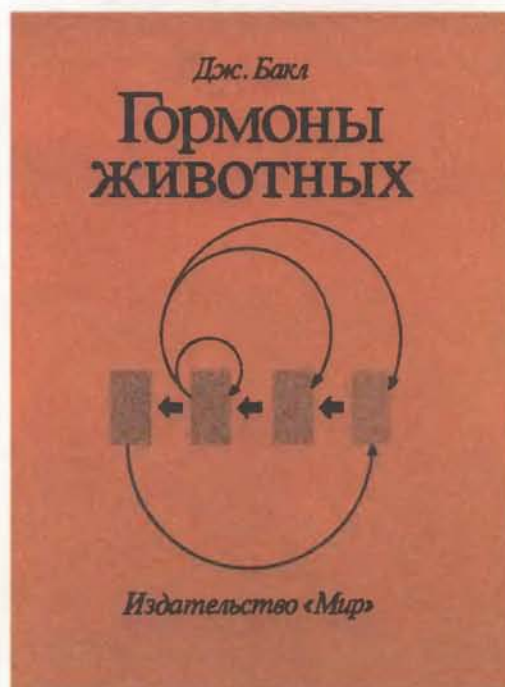
МОДЕЛИРОВАНИЕ
УСЛОВИЙ ПОЛЕТА

Издательство МИР предлагает:

Дж. Бакл

ГОРМОНЫ ЖИВОТНЫХ

Перевод с английского



В книге английского автора довольно популярно и схематично, но на современном уровне изложены основные принципы гормональной регуляции как у беспозвоночных, так и у высших позвоночных животных.

Содержание: Основные представления о гормонах и методах их исследования. Нейросекретция и нейрогормоны. Аденогипофиз и гипоталамус. Щитовидная железа. Надпочечники. Половые железы, роль гормонов в репро-

дуктивном цикле. Гормоны пищеварительного тракта. Эндокринная функция поджелудочной железы и сахарный диабет. Роль гормонов в регуляции метаболизма. Другие эндокринные железы и тканевые гормоны. Гормоны беспозвоночных животных.

Для физиологов, биохимиков, фармакологов и врачей, для студентов и преподавателей институтов биологического и медицинского профиля.

1986, 5 л. Цена 70 к.



В МИРЕ НАУКИ

Scientific American · Издание на русском языке

ИЛЛЮСТРИРОВАННЫЙ ЖУРНАЛ

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

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР» МОСКВА

№ 9 · СЕНТЯБРЬ 1986

В номере:

- СТАТЬИ**
- 4 Новые перспективные культуры** *К. Уили Хинман*
Производство дикой тыквы, катрана, симмондзии и кенафа приближается к товарному уровню. Имеются и другие культуры, которые перспективны для использования в пищу и как промышленное сырье
(Scientific American, July 1986, Vol. 255, No. 1)
- 12 Гигантские структуры Вселенной** *Джек О. Бернс*
Скопления галактик составляют громадные сверхскопления, которые перемежаются в пространстве с необъятными пустотами. Рождение таких структур связано с взаимодействиями при высоких энергиях в ранней Вселенной
(Scientific American, July 1986, Vol. 255, No. 1)
- 24 Антиидиотипы и иммунитет** *Рональд С. Кеннеди, Джозеф Л. Мелник, Гордон Р. Дрисман*
Антиидиотипические антитела распознают молекулярную индивидуальность других антител. Они модулируют иммунный ответ, что открывает путь для экспериментальных и терапевтических манипуляций иммунной системой
(Scientific American, July 1986, Vol. 255, No. 1)
- 34 Строение горных хребтов** *Питер Молнар*
Что подпирает горы? Некоторые из них стоят на жестких плитах, другие поддерживаются «корнями», уходящими глубоко в мантию. Хребты второго типа могут разрушаться, если их склоны не подвергаются горизонтальному сжатию
(Scientific American, July 1986, Vol. 255, No. 1)
- 46 Экзотические атомные ядра** *Дж. Х. Гамильтон, Й. А. Марун*
Соотношение числа нейтронов и протонов в этих ядрах совсем иное, чем в ядрах тех атомов, которые встречаются в природе. Необычные свойства экзотических ядер дают возможность по-новому взглянуть на структуру и движение ядерного вещества
(Scientific American, July 1986, Vol. 255, No. 1)
- 56 Пространство, время, осязание** *Фрэнк А. Джелдарт, Карл Э. Шеррик*
Эксперименты показывают, что небольшие изменения интервала времени между прикосновениями к коже человека могут приводить к большому разбросу точек, где ощущаются прикосновения. Эти результаты помогают понять, как работает нервная система
(Scientific American, July 1986, Vol. 255, No. 1)
- 64 Моделирование условий полета** *Ральф Норман Хабер*
Авиационные тренажеры, на которых летчики могут отрабатывать выполнение сложных задач пилотирования, находят все большее применение. Дальнейшее совершенствование имитации на тренажерах визуальной обстановки ставит сложные задачи перед вычислительной техникой
(Scientific American, July 1986, Vol. 255, No. 1)
- 74 Кутикула членистоногих** *Нейл Ф. Хэдли*
Этому сложно устроенному покрову тела членистоногие во многом обязаны своей высокой приспособленностью. Узнавая больше о строении и химическом составе кутикулы, мы лучше понимаем, как она выполняет защитную и опорную функции
(Scientific American, July 1986, Vol. 255, No. 1)
- РУБРИКИ**
- 3 Об авторах**
- 11 50 и 100 лет назад**
- 23, 45, 62, 90, 104 Наука и общество**
- 84 Наука вокруг нас**
- 92 Занимательный компьютер**
- 98 Книги**
- 107 Библиография**

SCIENTIFIC AMERICAN

Jonathan Piel
PRESIDENT AND EDITOR
BOARD OF EDITORS

Philip Morrison
BOOK EDITOR

Armand Schwab, Jr.
Timothy Appenzeller
John M. Benditt
Peter G. Brown
David L. Cooke, Jr.
Ari W. Epstein
Michael Feirtag
Gregory R. Greenwell
Robert Kunzig
James T. Rogers
Ricki L. Rusting

Samuel L. Howard
ART DIRECTOR
Richard Sasso
PRODUCTION MANAGER
George S. Conn
GENERAL MANAGER

Gerard Piel
CHAIRMAN

© 1986 by Scientific American, Inc.
Товарный знак *Scientific American*,
его текст и шрифтовое оформление
являются исключительной собственностью
Scientific American, Inc.
и использованы здесь в соответствии
с лицензионным договором

В МИРЕ НАУКИ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
С. П. Капица

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА
Л. В. Шепелева

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

ЛИТЕРАТУРНЫЕ РЕДАКТОРЫ
М. М. Попова
М. В. Сурова

ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
С. А. Стулов

ЗАВЕДУЮЩАЯ РЕДАКЦИЕЙ
Т. Д. Франк-Каменецкая
РУКОВОДИТЕЛЬ ГРУППЫ ФОТОАБОРА
Г. С. Азимов

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР
Л. П. Чуркина

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», 1986

На обложке



МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПОЛЕТА

На обложке показана кабина тренажера реактивного истребителя F-16 на фоне изображения, построенного компьютером. На таком тренажере пилот может отрабатывать многие летные задачи в безопасных условиях на земле. В связи с этим тренажеры находят все большее применение в подготовке как военных летчиков, так и летчиков гражданской авиации (см. статью Р. Хабера «Моделирование условий полета» на с. 64). Изображенный на рисунке тренажер, известный под названием ESPRIT, в настоящее время сооружается в отделении Link Flight Simulation компании Singer. Одной из основных особенностей тренажера является использование в нем датчиков направления линии зрения пилота в каждый момент времени и воспроизведение с высоким разрешением только той части визуальной картины, которая находится впереди по линии зрения пилота. Программы для моделирования условий полета могут также использоваться в персональных компьютерах (см. статью А. К. Дюдни в рубрике «Занимательный компьютер» на с. 92).

Иллюстрации

ОБЛОЖКА: Ted Lodigensky

СТР. АВТОР/ИСТОЧНИК

СТР. АВТОР/ИСТОЧНИК

СТР. АВТОР/ИСТОЧНИК

- 4 Barrie Rokeach
6, 7 Patricia J. Wynne
8, 9 Patricia J. Wynne
(*вверху*), Ilil Arbel
(*внизу*)
13, 14 George V. Kelvin
15 National Optical
Astronomy
Observatories
16-20 George V. Kelvin
21 Jack O. Burns,
J. Ward Moody
25 Daniel Pauletti,
Southwest
Foundation for
Biomedical
Research
26-32 Alan D. Iselin
35 National
Aeronautics and
Space
Administration
36-38 Ian Worpole
40 Andrew Tomko
41 Ian Worpole

- 42 Peter Molnar
43 Servicio
Aerofotográfico
Nacional del Perú
47 James Kilkelly
48-52 George Retseck
54 Peter Möller and
J. Rayford Nix
56 James Kilkelly
58-61 Carol Donner
65 Bob Foster,
McDonnell
Aircraft Company
66-68 Ian Worpole
69 Link Flight
Simulation
Division of the
Singer Company
70 Ian Worpole
71 Link Flight
Simulation
Division of the
Singer Company
75 Neil F. Hadley,
Greg Hendricks

- 76 Tom Prentiss,
Neil F. Hadley
(*вверху*), Tom
Prentiss (*внизу*)
77 Elizabeth McClain
(*вверху*), Neil
F. Hadley (*внизу*)
78 Tom Prentiss
79 Barry K. Filshie
(*вверху*), Tom
Prentiss, Neil
F. Hadley (*внизу*)
80 Neil F. Hadley
(*вверху*), Tom
Prentiss (*внизу*)
82 Tom Prentiss
85 Charles A. Knight,
National Center
for Atmospheric
Research
86-89 Michael Goodman
93, 94 James Kilkelly
95 Andrew Christie
96 Gabor Kiss

Об авторах

С. Wiley Hinman (К. УИЛИ ХИН-МАН «Новые перспективные культуры») — доцент сельскохозяйственного колледжа при Аризонском университете. Одновременно он президент фирмы Hinman Associates и вице-президент фирмы Vega Biotechnologies, Inc. В 1951 г. Хинман окончил Гриннелльский колледж, получив степень бакалавра в области химии, а в 1954 г. в Иллинойском университете в Эрбана-Шампейн ему была присвоена степень доктора наук в области органической химии и биохимии. Хинман сотрудничал с компаниями Dow Chemical и Diamond Shamrock и неоднократно занимал должность советника в правительственном аппарате.

Jack O. Burns (ДЖЕК О. БЕРНС «Гигантские структуры Вселенной») — директор Института астрофизики и доцент физики и астрономии в Университете шт. Нью-Мексико. Степень бакалавра в области астрофизики получил в Массачусетском университете в 1974 г., а степени магистра (1976 г.) и доктора философии (1978 г.) — в Университете шт. Индиана. С 1978 по 1980 г. занимал должность исследователя в Национальной радиоастрономической обсерватории, участвуя в программе «Большая антенная решетка», затем стал сотрудником Университета шт. Нью-Мексико. Тема его статьи — космология — для Бернса представляет относительно новое направление исследований. Первые научные работы Бернса были посвящены внегалактической радиоастрономии.

Ronald C. Kennedy, Joseph L. Melnick, Gordon R. Dreesman (РОНАЛЬД С. КЕННЕДИ, ДЖОЗЕФ Л. МЕЛНИК, ГОРДОН Р. ДРИСМАН «Антиидиотипы и иммунитет»). Кеннеди — ассистент в Юго-Западном фонде медико-биологических исследований в Сан-Антонио и профессор микробиологии в Научно-исследовательском медицинском центре Техасского университета в Сан-Антонио. Степени магистра и доктора философии он получил в Гавайском университете в Мааноа. Затем работал под руководством Мелника и Дрисмана в медицинском Бэйлор-колледже, где в 1983 г. стал профессором. С 1984 г. сотрудник Юго-Западного фонда. Мелник — профессор вирусологии и эпидемиологии и декан в Бэйлор-колледже. Степень доктора философии в области биохимии получил в Йельском университете; там он преподавал в течение 18 лет, после чего в 1958 г. перешел в Бэйлор-колледж. Исследовани-

ями вирусных вакцин начал заниматься во время второй мировой войны и на протяжении 28 лет являлся экспертом ВОЗ по вирусным заболеваниям. Дрисман — руководитель отдела вирусологии Юго-Западного фонда и профессор вирусологии в Техасском университете и в Бэйлор-колледже. Степень доктора философии в области микробиологии получил в 1965 г. в Гавайском университете в Мааноа. Преподавал в Медицинской школе Сент-Луисского университета; с 1969 г. работал в Бэйлор-колледже, где в 1979 г. получил должность профессора. В 1984 г. перешел в Юго-Западный фонд.

Peter Molnar (ПИТЕР МОЛНАР «Строение горных хребтов») — доцент отделения наук о Земле и других планетах Массачусетского технологического института; занимает эту должность с 1978 г. Закончил Оберлинский колледж; степень доктора философии получил в 1970 г. в Колумбийском университете. Молнар пишет: «По меньшей мере три месяца в году я провожу в удаленных горных районах; веду полевые исследования и наслаждаюсь прелестями местных самобытных культур. Дома в свободное время обычно занят тем, что пытаюсь овладеть хотя бы немного языком, на котором говорят там, куда я собираюсь отправиться в следующий раз, или читаю книги по географии, антропологии и археологии одной из необычных культур нашей планеты».

J. H. Hamilton, J. A. Maruhn (ДЖ. Х. ГАМИЛЬТОН, Й. А. МАРУН «Экзотические атомные ядра»). Гамильтон — профессор физики в Университете Вандербильта, степень бакалавра получил в 1954 г. в Миссисипи-колледже, а степени магистра (1956 г.) и доктора философии (1958 г.) — в Университете шт. Индиана. После окончания учебы начал работать в Университете Вандербильта. Марун — доцент теоретической физики Университета г. Франкфурт-на-Майне; учился в этом же университете и в 1973 г. получил там степень доктора философии, защитив диссертацию о массовых распределениях в ядерном делении. С 1974 по 1977 г. работал в Ок-Риджской национальной лаборатории (шт. Теннесси), затем вернулся во Франкфурт-на-Майне и стал сотрудником Института теоретической физики при университете.

Frank A. Geldard, Carl E. Sherrik (ФРЭНК А. ДЖЕЛДАРД, КАРЛ Э. ШЕРРИК «Пространство, время,

осознание») много лет сотрудничали в изучении реакции кожи на воздействие стимулов. Джеллард, умерший в 1984 г., был почетным профессором психологии и до конца своей жизни работал старшим научным сотрудником Принстонского университета. Все ученые степени были присуждены ему в Университете Кларка. После получения степени доктора философии в 1928 г. преподавал в Виргинском университете. Во время второй мировой войны возглавлял отделение психологии в службе Главного хирурга учебного соединения ВВС США. После войны до 1962 г. продолжал работать в Виргинском университете, а затем переехал в Принстон. Неожиданно для себя и для всех он открыл явление сальтации, описанное в статье; в ту пору перед уходом на пенсию с преподавательской работы в 1972 г. он вел свой последний лабораторный практикум по исследованию ощущений. Шеррик — психолог, старший научный сотрудник Принстонского университета, ведет курс психологии. Аспирантскую работу по экспериментальной психологии выполнил под руководством Джелларда в Виргинском университете и получил за нее в 1952 г. степень доктора философии. Проработав год в Виргинском университете, переехал в Сент-Луис, где преподавал и вел исследования в Вашингтонском университете и Центральном институте для глухих. В 1962 г. ненадолго вернулся в Виргинию, а затем вместе с Джеллардом переехал в Принстон. Шеррик особенно интересуется вопросом, как использовать осязание для компенсации потери зрения и слуха.

Ralf Norman Haber (РАЛЬФ НОРМАН ХАБЕР «Моделирование условий полета») — профессор психологии Иллинойского университета. В 1953 г. получил степень бакалавра философии в Мичиганском университете, в 1954 г. — степень магистра в области психологии в Университете Уэсли и в 1957 г. — степень доктора философии в области психологии. До перехода в Иллинойский университет преподавал в Йельском (в течение 6 лет), а затем в Рочестерском (в течение 15 лет) университете. Опубликованная в этом номере статья Хабера написана им, когда он работал в период отпуска приглашенным ученым в Лаборатории исследований по личному составу ВВС США, находящейся на базе ВВС Уильямса в штате Аризона. Основные труды Хабера посвящены вопросам зрительного восприятия человеком окружающего его пространства.

(продолжение см. на с. 107)



ПЛАНТАЦИЯ КУСТАРНИКА СИММОНДЗИИ, принадлежащая компании Agrifuture, Inc. в Калифорнии. Дикая симмондзия китайская (*Simmondsia chinensis*) произрастает в пустынях. Из семян этого растения получают масло, спо-

собное заменить жир кашалота, ранее применявшийся для различных целей. (Использование жира кашалота в США запрещено.) Шрот, получаемый из семян после отжима масла, тоже может представлять коммерческий интерес.

Новые перспективные культуры

Производство дикой тыквы, катрана, симмондзии и кенафа приближается к товарному уровню. Имеются и другие культуры, которые перспективны для использования в пищу и как промышленное сырье

К. УИЛИ ХИНМАН

В АГРАРНОМ секторе США пшеница, кукуруза, соя и другие культуры производятся в огромных масштабах. Тем не менее имеет смысл оценить экономическую целесообразность культивирования некоторых диких растений, которые в настоящее время на фермах не выращиваются. Эта проблема непосредственно связана с поиском и отбором таких растений. На протяжении последних 10 лет некоторые лаборатории при университетах и промышленных компаниях занимаются решением этой задачи. Они столкнулись с рядом удивительных фактов: отдельные дикорастущие виды могут быть не только использованы в пищу и давать волокно, но из них также можно получать множество различных продуктов, применяемых в промышленности, например длинноцепные жирные кислоты, которые используются в качестве смазки в производстве проката; среднецепные жирные кислоты для производства мыла, моющих и поверхностно-активных средств, смазочных материалов; масло, заменяющее жир кашалота в производстве косметических средств и являющееся хорошим смазочным материалом; органические соединения, которые могут использоваться в производстве углеводородного горючего и резины.

В отчете, подготовленном и представленном в 1978 г. Национальному научному фонду компанией Soil and Land Use Technology, Inc. (округ Колумбия, шт. Мэриленд), указаны основные причины, побудившие начать научный поиск новых видов культур. Согласно данным отчета, одна из причин заключается в необходимости обогащения генетического фонда существующих сельскохозяйственных культур новым генетическим материалом диких растений. В противном случае он может исчерпаться до такой степени, что растение станет уязвимым для болезней или воздействия окружающей среды. Другая причина

сводится к тому, что «современные культуры либо очень требовательны к окружающим условиям», т. е. нуждаются в большем количестве воды и питательных веществ, чем обеспечивает окружающая среда, «либо экологически узко адаптированы», т. е. допускают отклонения температуры или почвенных условий в очень узких пределах. Третий довод в пользу культивирования новых растений заключается в том, что традиционные сельскохозяйственные культуры для возделывания и переработки требуют «больших энергетических затрат в виде горючего, удобрений, пестицидов, а также создания сложных систем орошения». И наконец, экономическое положение фермеров, специализирующихся на производстве определенной культуры, например пшеницы, в меньшей степени зависело бы от колебаний цен на нее, если бы фермеры могли выращивать альтернативные культуры.

Итак, поиски выявили 4 культуры, которые можно ввести в производство: дикая тыква, катран, симмондзия и кенаф. Несколько других изучаемых в этой связи культур перспективны для дальнейшего их товарного производства и решения сельскохозяйственных и экономических проблем.

ДИКАЯ ТЫКВА (*Cucurbita foetidissima*) является растением того же рода, в который входят кабачок и тыква. Ее родина — засушливые и ползучеветвистые районы Северной Америки. Это многолетнее стелющееся растение, дающее высокий урожай семян, ценных во многих отношениях, имеет чрезвычайно длинные корни, содержащие большое количество высококачественного крахмала. Размножается вегетативным путем. Стебель растения погибает при температуре ниже 0 °C, но его корни переносят температуру до -25 °C, особенно если земля покрыта снегом. Эти

свойства указывают на то, что дикая тыква может успешно выращиваться на всей территории, находящейся над водоносным слоем Огаллала — подземным водным резервуаром, протянувшимся от Южной Дакоты и Миссури до Техаса и Нью-Мексико.

Использовать можно все части растения. Стебли, содержащие большое количество белка и хорошо усваиваемые, можно употреблять на корм скоту. Корни, вес которых за 3—4 вегетационных периода достигает почти 40 кг, богаты крахмалом, по своим свойствам похожим на крахмал, получаемый из корня маниоки. Он может быть переработан в подсластители — декстрин, мальтозу и глюкозу. Семена имеют значительный процент масла и белка. Уборка плодов, содержащих семена, поддается механизации. Благодаря тому что в состав масла входят высококачественные жирные кислоты (65,3% линолевой кислоты, 23% олеиновой, 6,13% пальмитиновой и 2,2% стеариновой), его можно с успехом использовать в пищу. (Жирная кислота состоит из группы COOH, в которую входят атомы углерода, кислорода и водорода, и имеет прямые цепи с четным количеством атомов углерода.) Шрот, остающийся после экстракции масла, содержит примерно одинаковые количества белка и клетчатки и пригоден для использования на корм скоту.

Научные исследования дикой тыквы начались по инициативе министерства сельского хозяйства США в 40-х годах; в настоящее время они ведутся в США, Мексике, Австралии и Ливане. С 1963 г. изучение растения и включение его в число культивируемых стало частью исследовательской программы Университета штата Аризона. В результате проведенных исследований установлено, что с одного гектара можно собирать около 2 т семян. (Для сравнения: урожайность сои может превышать 3,1, а

подсолнечника — 1,4 т/га.) Меньше данных накоплено о продуктивности корней дикой тыквы, однако последние исследования указывают на возможность получения урожая более 7 т корней с одного гектара. О продуктивности стебля данных мало.

Дикую тыкву можно также использовать для получения жидкого горючего. По результатам предварительных исследований установлено, что за год при хорошем урожае из нее можно получить значительное количество технического масла, которое служит дизельным топливом, а также источником получения этилового спирта. В Энергетическом институте Университета штата Нью-Мексико продолжаются исследования, направленные на выявление различий в выходе масла у однолетних и многолетних растений, а также зависимости развития растения от степени засоленности потребляемой им воды.

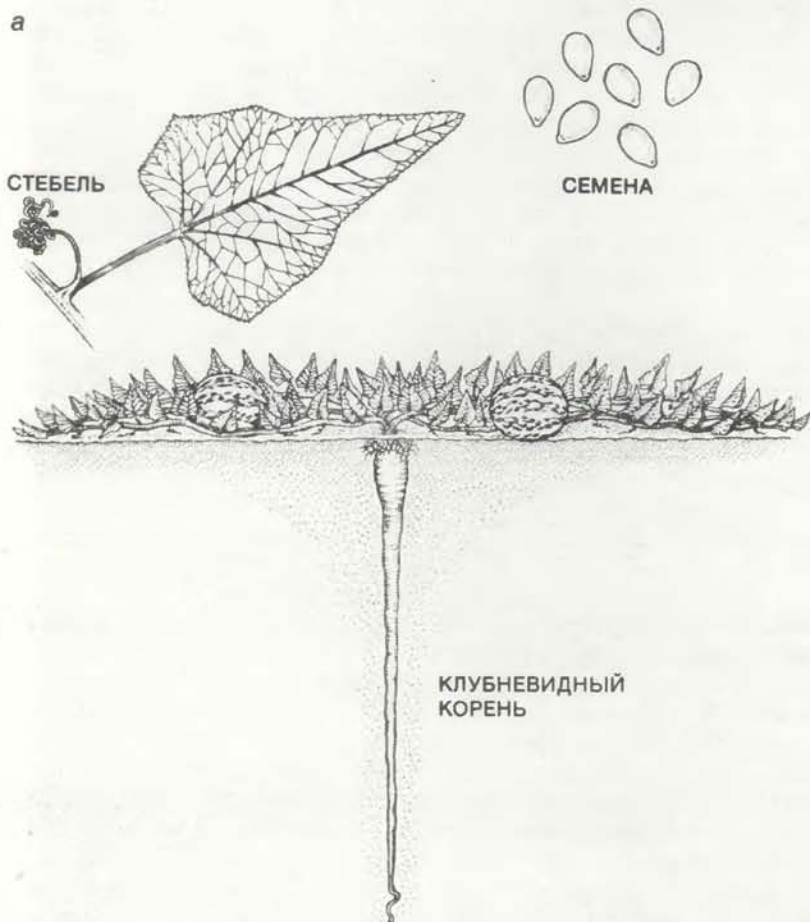
Дальнейшие систематизированные и хорошо финансируемые исследования создадут необходимые условия для перевода дикой тыквы в товарную культуру. Наилучших результа-

тов, вероятно, можно добиться, если координацию усилий по выращиванию дикой тыквы как товарной культуры и по внедрению разнообразных продуктов, получаемых из нее, возмет на себя какая-нибудь компания.

КАТРАН (*Crambe abyssinica*) перспективен как сырье для получения эруковой кислоты — длинноцепной жирной кислоты, которая используется в производстве смазочных материалов и пластификаторов. Для получения этого важного продукта в США всегда использовалось импортируемое из других стран рапсовое масло. С недавних пор этот источник стал весьма скудным, поскольку производители рапса переключились на выращивание таких его сортов, которые дают более высокий урожай, но содержат меньше эруковой кислоты. Министерство сельского хозяйства в своей программе по новым культурам подчеркнуло необходимость поисков местных альтернативных культур, которые могли бы служить источником эруковой кислоты, а также других длинноцепных жирных кислот.

Катран относится к семейству крестоцветных (называемому также семейством капустных), в которое входят горчица, капуста и рапс. *Crambe abyssinica*, первоначально произраставший в средиземноморских странах, является основной культурой, способной заменить рапс. Действительно, если содержание эруковой кислоты в рапсовом масле составляет 40—50%, то в масле катрана — до 60%.

К преимуществам растения относится короткий вегетационный период (от 90 до 100 дней). Предварительными испытаниями установлено, что катран можно выращивать на территории от Северной Дакоты до Техаса и от Коннектикута до Калифорнии. Всюду, где он растет, фермеры могут производить экономически выгодное количество масла. В Университете Пардю была собрана коллекция генетического, или наследственного, материала катрана, а его изучение привело к созданию улучшенных сортов. В министерстве сельского хозяйства США зарегистрировано три разновидности растения.



ЧЕТЫРЕ РАСТЕНИЯ, перспективные для коммерческого использования: дикая тыква (а), катран (b), симмондзия (с) и кенаф (d). Дикая тыква (*Cucurbita foetidissima*) из семейства кабачков и тыквы дает семена, богатые маслом и белком. Много белка содержится в стебле, а в корнях име-



ется крахмал, похожий по своим свойствам на крахмал корня маниоки. Катран (*Crambe abyssinica*) является хорошим сырьем для получения эруковой кислоты, используемой в производстве смазочных материалов и пластификаторов. Кустарник симмондзии ценится не только за бога-

Первые полевые испытания дали сотрудникам службы сельскохозяйственных исследований Северного регионального научного центра в Пеории (шт. Иллинойс) достаточное количество семян для химических анализов. Кроме того, с целью получения из семян высококачественного масла и шрота изучались способы переработки, после чего катрановое масло было признано заменителем рапсового и разработаны новые виды продуктов из него.

Единственная проблема, препятствующая использованию катрана в качестве корма для скота, заключается в том, что, как и в других растениях семейства крестоцветных, в нем содержатся глюкозинолаты, сконцентрированные в семенах. Эти вещества токсичны для человека и животных. До научного изучения катрана шрот из его семян, содержащий глюкозинолаты, редко добавляли в корма. Шрот катрана нельзя было скармливать скоту без разрешения Управления по контролю за качеством пищевых и фармацевтических продуктов.

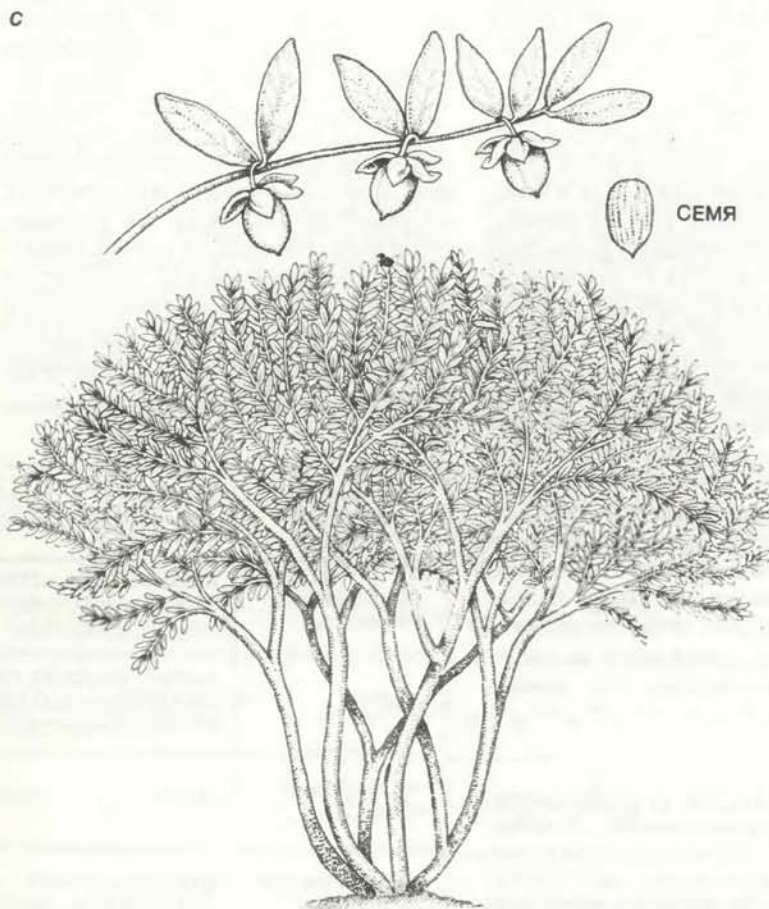
Для получения такого разрешения

необходимо было доказать, что скармливание крупному рогатому скоту порции шрота катрана в течение 6 месяцев дает такой же экономический эффект, как и кормление соевым шротом. Данный эффект оценивался по показателям привеса, а также по наличию глюкозинолатов или других веществ, образующихся в результате их химического распада в животноводческих продуктах (содержание указанных токсичных веществ не должно превышать одной части на миллион). Опыты, проводимые в течение нескольких лет, показали, что использование шрота катрана в дневном рационе животного в пределах не выше 15% безопасно. Тем не менее Управление по контролю за качеством пищевых и фармацевтических продуктов разрешило максимально допустимое содержание шрота катрана в кормах в пределах 4,2%.

В отчете об исследованиях Северного регионального исследовательского центра приведен сравнительный анализ потребительских свойств масла катрана и рапса. Установлено, что масло катрана по своему качеству не

уступает, а зачастую превосходит рапсовое. Как выяснилось, не существует технических препятствий для непосредственного замещения рапсового масла с высоким содержанием эруковой кислоты маслом катрана.

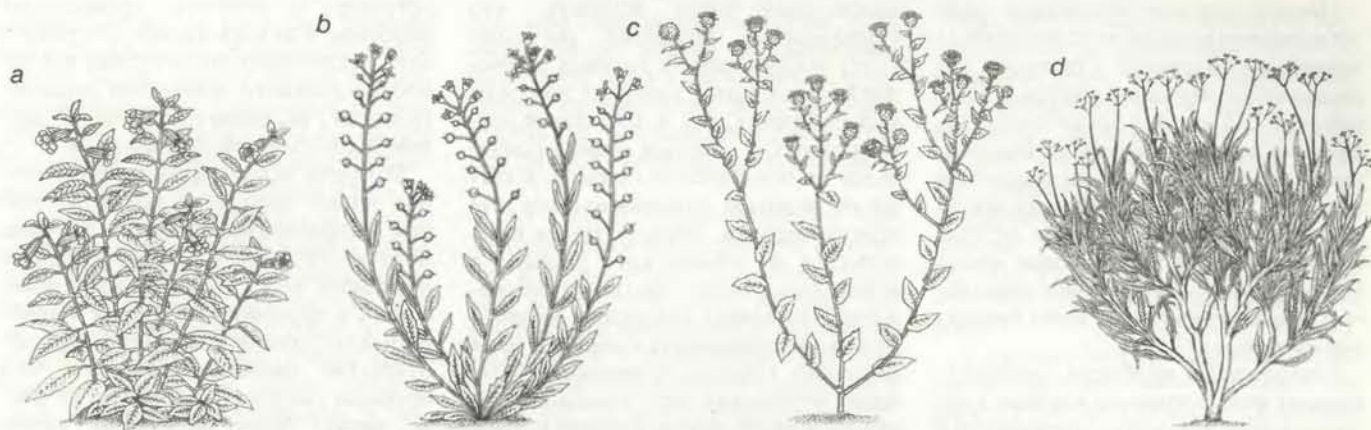
Изучение исследователями из Пеории новых продуктов показало, что при гидрогенизации масла катрана получается вещество, которое тверже пчелиного воска. Его можно использовать в производстве свечей и некоторых косметических средств. Другое открытие заключалось в том, что эруковая кислота, получаемая из масла, может быть химическим путем превращена в брассиловую и пеларгоновую кислоты. Брассиловая кислота перерабатывается в жидкие парафины, используемые для смазки в условиях высокого давления, и даже в один из видов нейлона, обладающий прекрасными пластическими свойствами, необходимыми для производства таких промышленных товаров, как электрическая изоляция и шестерни. Из пеларгоновой кислоты получают соли, водный раствор которых помогает растворять вещества, нерас-



тое содержание масла в семенах, но и за его способность хорошо расти в засушливых районах, где другие сельскохозяйственные культуры не могут обойтись без орошения. Кенаф (*Hibiscus cannabinus*) является потенциальным источником целлюлозы — исходного продукта для произво-



дства бумаги и картона. Получаемая из кенафа бумажная масса не уступает бумажной массе, получаемой из древесины, и даже превосходит ее по своим свойствам. Из кенафа, собранного с 1 га, бумажной массы можно произвести больше, чем из древесины, полученной с той же площади.



ДРУГИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАСТЕНИЯ: дербенник (a), везикария (b), гринделия (c) и гваюла (d). Дербенник (*Cuphea*) можно использовать в качестве исходного продукта для получения жирных кислот. Везикария — род пустынных растений (*Lesquerella*); она дает семена, которые являются сырьем для получения кислоты, по своим свойствам сходной с рицинолевой кислотой, получаемой в США из импор-

тируемого касторового масла. Гринделия (*Grindelia canporum*) может заменить древесную смолу, из которой получают клеи и склеивающие вещества, используемые для производства бумаги. В стеблях и корнях гваюлы (*Parthenium argentatum*) содержится каучук. Этот кустарник также можно использовать для получения углеводородного топлива.

творимые в простой воде. Эта же кислота используется в производстве лаков и пластмасс.

Существующее мнение о катране как о перспективной сельскохозяйственной культуре вполне оправданно. Растение можно выращивать практически во всех 48 штатах (не считая Аляску и Гавайи). Экономические оценки дают основание полагать, что культивирование растения сулит немалые выгоды как фермерам, так и владельцам химических предприятий.

СИММОНДЗИЯ китайская (*Simmondsia chinensis*) представляет собой кустарник, родина которого — пустыня Сонора в Мексике и юго-западные районы США. Растение стало представлять интерес в плане сельскохозяйственного использования более 10 лет назад, когда по экологическим соображениям в США было запрещено использовать жир кашалота, который в течение многих лет был единственным коммерческим сырьем для получения жидких парафиновых сложных эфиров, используемых в производстве косметических средств (таких, как лосьоны, шампуни и фиксаторы), высококачественных смазочных материалов и даже гиподермической жидкости.

Исследования, проведенные в нескольких лабораториях, показали, что масло из семян симмондзии китайской может заменить жир кашалота. Данные химических анализов, а также заинтересованность специалистов по охране окружающей среды, лиц и организаций, финансирующих исследования, способствовали началу культивирования этого дикорастущего растения. До последнего времени

товарное производство симмондзии китайской осуществлялось на юго-западе США на площади почти 16 тыс. га. На масло были установлены высокие цены (примерно 10 долл. за 1 л), но при наращивании производства можно ожидать снижения цен примерно до 5 долл. При таких ценах масло сможет завоевать более широкий рынок сбыта.

Симмондзия начинает плодоносить в возрасте 3—4 лет, а самый большой урожай дает в возрасте около 10 лет. Максимальный урожай диких и культурных кустарников еще не определен, но известно, что одно дикое растение дает от 14 до 18 кг очищенных сухих семян в год. Проводится ряд исследований с целью определения оптимальной рядности посадок, соотношения мужских и женских растений, норм полива и внесения удобрений, эффективных способов уборки и борьбы с вредителями.

При отжиме из семян растения 1 кг масла получается немногим больше 1 кг шрота. Этот шрот содержит остаточное масло, а также белок, клетчатку, танины и другие вещества. В настоящее время шрот не имеет товарного применения. Его можно

было бы использовать на корм скоту, но для этого необходима его тщательная переработка, чтобы отделить остаточное масло, содержащее токсичное вещество симмондзин (*simmondsin*), а также вещества (вероятно, танины), которые придают шроту неприятный для животных вкус. Стоимость такой переработки равна или превышает стоимость самого шрота. Из-за низкого содержания азота шрот еще менее пригоден для использования в качестве удобрения. Вероятно, наибольшую ценность он будет представлять как топливо, стоимость которого в районе производства оценивается в 50—75 долл. за 1 т. Для сокращения транспортных расходов самыми предпочтительными рынками окажутся близлежащие районы.

КИСЛОТЫ И МАСЛА, играющие важную роль в промышленном производстве, можно получать из некоторых окультуренных дикорастущих растений. В таблице указаны области применения и источники получения этих продуктов. На диаграмме приведены химические структуры кислот и масел. Черные точки обозначают атомы углерода, цветные — атомы кислорода. Водород не обозначен.

НАЗВАНИЕ ПРОДУКТА	НАЗНАЧЕНИЕ
ЭРУКОВАЯ КИСЛОТА	СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПЛАСТИФИКАТОРЫ, ПЕНОПОДАВИТЕЛИ
МАСЛО	КОСМЕТИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА, СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПЕНОПОДАВИТЕЛИ
ЛАУРИНОВАЯ КИСЛОТА	МЫЛО
РИЦИНОЛЕВАЯ КИСЛОТА	ОТДЕЛКА ТКАНЕЙ, ПЛАСТМАССЫ, МЫЛО
ВЕРНОЛИЕВАЯ КИСЛОТА	ПЛАСТМАССЫ, ПОКРЫТИЯ, КЛЕИ

Шрот содержит почти 30% белка. Значительную часть белка можно выделить и использовать как добавку в корм для скота. Его можно использовать и в производстве косметических средств, а также как склеивающее вещество в производстве бумаги.

Содержащиеся в шроте танины, достигающие необычайно высокой концентрации (8%), также могут представлять коммерческий интерес. Все танины, используемые в настоящее время в США (в дублении, крашении, производстве чернил и в медицине), импортируются. Если использование танинов, получаемых из симмондзии, в этих областях окажется эффективным, то симмондзия китайская может стать основным внутренним источником этого вида сырья.

Из шрота симмондзии можно получать и другие полезные продукты. В нем содержится исходный материал для новых перспективных фармацевтических препаратов, используемых с целью регулирования аппетита; сахара, которые могут служить субстратом в процессе брожения; лигнины, необходимые для производства клея, пластмасс и химических веществ, а также целлюлоза, нужная многим производствам.

Пожалуй, наиболее ценное свойство симмондзии заключается в том, что она хорошо растет в засушливых районах, где возделывание большинства других культур требует орошения. Многие районы мира с теплым и засушливым климатом имеют плодородные почвы и высокоразвитое сельское хозяйство, но орошение традиционно выращиваемых культур вызвало угрожающее снижение уровня грунтовых вод. Как симмондзия, так и дикая тыква могут сделать эту проблему менее острой, если будущие

исследования и усилия по освоению производства этих культур увенчаются успехом.

КЕНАФ (*Hibiscus cannabinus*) — это однолетнее травянистое растение восточных районов Центральной Африки. Оно образует густые заросли из прямых стройных стеблей, достигающих высоты 6 и более метров и имеющих около 5 см в диаметре у основания. Растение имеет важное значение как потенциальный источник целлюлозы для производства бумаги и картона.

В 1983 г. мировое производство бумаги и картона в основных производящих странах превысило 150 млн. т. Почти вся целлюлоза, необходимая для производства этой продукции, была получена из древесной пульпы, вырабатываемой из древесины. Производство и потребление бумаги и картона увеличивается почти на 10% в год. Нехватка целлюлозы начинает ощущаться во многих странах. Целлюлозно-бумажная промышленность Финляндии и Швеции, например, в настоящее время вынуждена импортировать древесную стружку, а не далее как в 1982 г. по крайней мере два целлюлозных завода в США из-за нехватки сырья были вынуждены перерабатывать газетную бумагу. По некоторым прогнозам ожидается, что к 2000 г. нехватка древесины в мире составит около 200 млн. куб. м.

Наиболее перспективным источником увеличения запасов целлюлозы могут стать недревесные волокнистые растения. Леса, у которых цикл регенерации составляет 30 лет, не способны дать столько целлюлозы за год, сколько дают пригодные для этих целей растения. Однолетняя культура имеет и ряд других преимуществ,

таких, как ежегодная отдача капиталовложений, возможность более точного планирования на основе краткосрочного прогнозирования, а также большая гибкость в использовании земель.

По этим соображениям в 50-е годы министерство сельского хозяйства начало осуществление исследовательской программы по выявлению однолетних волокнистых растений, пригодных для культивирования и последующего использования в производстве бумаги. Были собраны материалы по 506 видам растений, и в 1960 г. представлен отчет о проделанной работе. На основании предварительных оценок в лабораторных условиях были опробованы 92 вида. Лучшие результаты дал кенаф, он и был выбран для более тщательного изучения.

Полевые испытания с целью оценки возможности использования кенафа как сырья для получения бумажной массы были проведены еще в 1957 г., и к 1965 г. было установлено, что это растение можно выращивать без орошения в долинах штатов Алабама, Флорида, Джорджия, Луизиана, Миссисипи, Северная и Южная Каролина и на востоке Техаса. Хорошие урожаи были собраны и в более северных штатах — Индиане, Айове, Канзасе и Небраске.

Кенаф может давать от 25 до 45 т (в сухой массе) стеблей с одного гектара в год. Стебли содержат волокна двух типов: наружные лубяные, которые могут заменить джут, и короткие древесные волокна, составляющие толстую внутреннюю сердцевину. Оба типа волокон пригодны для получения бумажной массы. Можно использовать древесину в смеси с кенафом.

После промышленной переработки кенаф дает бумажную массу со

ТРАДИЦИОННЫЙ ИСТОЧНИК	НОВЫЙ ИСТОЧНИК	ХИМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА
РАПСОВОЕ СЕМЯ	КАТРАН	
ЖИР КАШАЛОТА	СИММОНДЗИЯ КИТАЙСКАЯ	
КОКОСОВЫЙ ОРЕХ	ДЕРБЕННИК	
КАСТОРОВОЕ МАСЛО	ВЕЗИКАРИЯ	
ЛЬНЯНОЕ ИЛИ СОЕВОЕ МАСЛО	ВЕРНОНИЯ	

свойствами, не уступающими, а иногда и превосходящими качество бумажной массы, получаемой из древесины. Недавно Американская ассоциация издателей газет выразила свою заинтересованность в производстве бумаги из кенафа, что заставило производителей газетной бумаги изучить этот вопрос. Интерес к кенафу обусловлен тем, что в благоприятных условиях с одного гектара можно получать кенафа больше, чем древесины для производства одного и того же количества пульпы, причем ее изготовление при этом обойдется почти вдвое дешевле. Оказывается, что в настоящее время, особенно в южных районах США, выращивание кенафа может конкурировать с другими товарными культурами.

ДИКАЯ ТЫКВА, катран, симмондзия китайская и кенаф находятся или близки к стадии товарного производства. В настоящее время изучаются также многие другие дикие растения, которые перспективны для коммерческого использования.

К ним относятся, например, растения рода дербенник (*Cuphea*). Исследовательская программа Северного регионального научного центра в Пеории определила растения этого рода как потенциальный источник сырья для получения коротко- и среднецепных жирных кислот. В настоящее время лауриновую кислоту и кислоты с более короткой цепью получают из кокосового масла, импортируемого с Филиппин. Большую часть этого продукта химическая промышленность перерабатывает в поверхностно-активные вещества и смазочные материалы. Открытие дербенника положило начало исследованиям, результаты которых показали, что масло, выжатое из семян различных видов дербенника, имеет вполне удовлетворительное качество для использования его в промышленности. Успех культивирования одного из видов этих растений будет зависеть главным образом от объема урожая и цен на получаемое из него масло.

К другим перспективным растениям относится произрастающее в пустынях растение рода *Lesquerella*, которое известно под названием везикария. Оно является хорошим сырьем для получения некоторых видов жирных кислот, главным образом левкополиеновой кислоты, которая по своим свойствам очень похожа на рицинолевую кислоту, получаемую из касторового масла. Импорт последнего в США превышает 50 тыс. т в год. Указанные кислоты используются в производстве многих продуктов, включая пластмассы и различные покры-

тия. Кроме того, в результате полимеризации масла, получаемого из везикарии, можно получить новый класс жестких пластмасс. Везикария способна расти в условиях меньшего увлажнения и на более бедных почвах, чем растения, из которых получают касторовое масло (клешевина обыкновенная — *Ricinus communis*); она не имеет токсичных и аллергенных свойств, присущих касторовым бобам.

Несколько растений, изучаемых в Пеории, перспективны как потенциальное сырье для получения эпоксидных жирных кислот, которые потребляются американской промышленностью в объеме свыше 60 тыс. т в год при производстве разнообразных материалов. В настоящее время эти кислоты получают путем переработки соевого или льняного масла, что не только дорого, но и требует больших энергетических затрат. Наиболее перспективными видами являются вернония (*Vernonia anthelmintica*, *V. galamensis*) и стокия (*Stokesia laevis*).

Гринделия камфорная (*Grindelia camporum*) может стать заменителем древесной смолы, которую промышленность использует в больших количествах для изготовления клея, склеивающих веществ для производства бумаги и многих других продуктов. Традиционный источник древесной смолы, которым являются старые пни южной сосны, почти исчерпан. Гринделия — растение пустыни, которое хорошо развивается в условиях значительно меньшего увлажнения, чем требуют традиционные культуры, выращиваемые в настоящее время в засушливых районах.

В последние годы внимание исследователей было привлечено к растениям, вырабатывающим органические вещества, которые могут служить источником углеводородных продуктов, используемых в производстве резины и топлива. Гваюла (*Parthenium argentatum*), пожалуй, наиболее перспективна для использования в производстве резины. Интерес к растениям как к сырью для получения углеводородного топлива пока невысок из-за больших мировых запасов ископаемой сырой нефти. Тем не менее перспективные растения определены и, без сомнения, будут культивироваться, когда это станет экономически выгодным.

Последнее из выявленных перспективных растений — кунжут (*Sesamum indicum*), дающий семена и масло. Более века назад он выращивался в США как товарная культура, теперь же интерес к нему утрачен, несмотря на то что США импортируют различную продукцию из кунжута в больших

объемах. Так, в 1983 г. ее было ввезено почти 40 тыс. т. Упадок производства этой культуры в США связан, во-первых, с неодновременным созреванием его семян и, во-вторых, с отсутствием машин для механизированной уборки. В Аризоне и Южной Каролине сейчас прилагаются значительные усилия для решения этих проблем.

КОГДА растение с большими потенциальными возможностями определено, предстоит сделать еще многое, прежде чем его производство станет экономически выгодным. Первый шаг — это исследования и разработки ученых многих специальностей: ботаников, генетиков, агрономов, химиков, инженеров, специалистов в области питания, экономистов и др.

Кроме того, существует проблема привлечения внимания организаций, которые могут предвидеть успех и к тому же имеют капитал на проведение в полном объеме исследовательских работ с новой культурой. Многие такие культуры ценны не только как сырье, но и как источник вторичных продуктов, которые могут не входить в круг интересов заказчика. Это вызывает дополнительные трудности при поиске организаций, готовых финансировать и оказывать необходимую помощь в превращении культуры в товарную. Часто такая организация желает получить финансовую поддержку или гарантию рынка сбыта прежде, чем она приступит к работе по освоению производства новой культуры. Вероятно, поэтому новые культуры станут товарными только тогда, когда правительство и частные организации объединят свои усилия в деле развития их производства.

50 и 100 лет назад

SCIENTIFIC
AMERICAN

ИЮЛЬ 1936 г. Почему спирт смешивается с водой, а бензин просто плавает на ее поверхности? Почему керосин с бензином смешивается, а с водой нет? Почему соль и сахар растворяются в воде, когда смесь помешивают ложечкой, а измельченная в порошок сера, йод и нафталин оседают на дно? Почему мыло, смешанное с водой, смывает грязь и жир? Ответы на эти вопросы дает новая область науки, связанная с определением молекулярной структуры (размера, формы и заряды молекул).

Широкое распространение получила резка металлических предметов под водой с помощью электрической дуги. В трудных ситуациях этот метод экономит время и затраты и позволяет справиться с задачей, на которую с применением других методов ушло бы гораздо больше усилий. При включенном токе водолазу достаточно лишь коснуться концом инструмента металла, который нужно разрезать, а затем отвести электрод на долю дюйма назад. Поскольку металлический предмет играет роль «земли» в электрической цепи, между ним и электродом возникает электрическая дуга. В пламени дуги, куда с конца электрода подается под давлением струя кислорода, металл плавится. Этот метод может найти также применение для сварки металлов под водой.

Новая технология, применяемая в Германии и Нидерландах, позволяет улавливать сернистый газ (диоксид серы) — вредный газ, являющийся побочным продуктом многих промышленных процессов — непосредственно из смеси газообразных отходов. Метод заключается в растворении выделившихся газов в смеси силикона (подобного анилину) и воды. Сернистый газ выделяют из насыщенной смеси при ее нагревании. Существует большой спрос со стороны потребителей на этот газ в чистом виде.

Несколько лет назад мостостроители с удивлением узнали о предложении У. Ирвинга использовать решетчатые настилы для мостов. Всегда считалось, что настил моста должен быть сплошным. Новая конструкция так прекрасно зарекомендовала себя на нескольких крупных мостах, что заняла прочное место в мостострое-

нии. Главное ее преимущество — небольшой вес; кроме того, на ней не накапливаются лед и снег.

Не исключено, что в осветительной технике грянет революция. Она может явиться результатом проводимых сейчас исследований по созданию двух новых видов ртутных ламп — флуоресцентной и капиллярной. Первая, по-видимому, будет обладать широкими возможностями для освещения различного цвета; вторая будет обладать исключительной яркостью и может найти применение в промышленности, медицине и для рекламных целей.



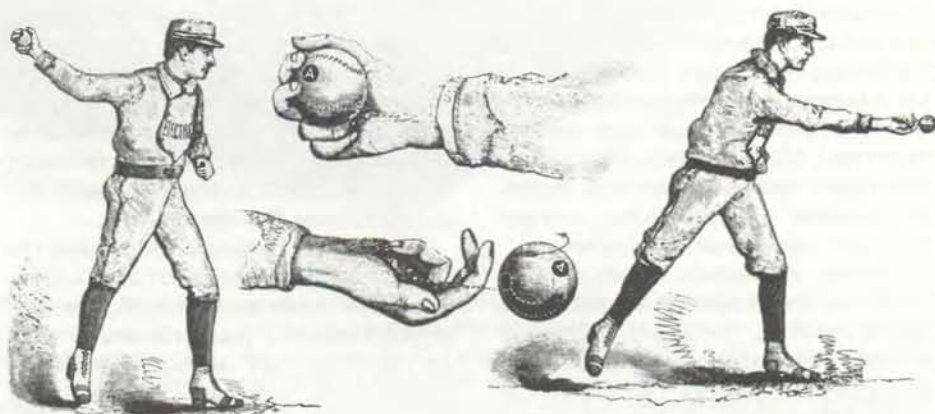
ИЮЛЬ 1886 г. Недавно в Нью-Йорке была создана Американская телефонная и телеграфная компания. Ее задача — установление прямой телефонной связи между крупными городами страны. Первой была построена линия между Нью-Йорком и Филадельфией, ее длина 100 миль. Новая телефонная линия будет, вероятно, открыта для деловой связи через несколько недель. Ожидается, что она окажется весьма удобным средством контакта.

Интересно отметить, что работы по проектированию и строительству каналов в Панаме и Никарагуа почти одновременно столкнулись с трудностями, которые могут повлиять на общественное мнение о целесообразности их сооружения. На строительство Панамского канала уже истрчено 120 млн. долл. Есть веские основания считать, что даже если бы в это предприятие были вложены еще 120 млн. долл., их оказалось бы недоста-

точно. Что касается проекта канала со шлюзами в Никарагуа, то недавнее землетрясение вблизи места строительства сразу же уничтожило главный аргумент, выдвигавшийся в поддержку идеи строительства канала именно в этом районе: Никарагуа, как сообщалось, находится вне зоны землетрясений.

Недавно в Лондонском королевском институте профессор Джеймс Дьюар продемонстрировал метод получения твердого кислорода. Жидкий кислород в соответствующем устройстве испаряется в частичный вакуум; поглощение огромного количества тепла, сопровождающее расширение, приводит к переходу кислорода в твердое состояние. Кислород при этом напоминает по виду снег и имеет температуру около 200 °С ниже точки замерзания воды. Получение этого вещества позволит химикам приблизиться к абсолютному нулю и изучить многие интересные свойства тел при температурах, которые должны быть характерны для космоса.

Сейчас профессионалы-бейсболисты демонстрируют замечательное мастерство игры и, если заглянуть в прошлое, нельзя не удивиться огромной разнице между тем, что в 50-х годах происходило на площадках в Хоккенене, и игрой современных ведущих профессиональных команд. Игра претерпела существенные усовершенствования, которые в наибольшей степени проявились в технике подачи мяча. Современная подача отличается от прежней одной важной особенностью: траектория мяча изогнута в горизонтальной плоскости. Если мяч закрутить слева направо или справа налево вокруг собственной оси, то в той степени, в которой действует боковое трение, мяч замедляет свое движение с той стороны, на которую действует возросшее трение. В результате возникает изогнутость траектории.



Как игрок подает крученный мяч

Гигантские структуры Вселенной

Скопления галактик составляют громадные сверхскопления, которые перемежаются в пространстве с необъятными пустотами.

Рождение таких структур связано с взаимодействиями при высоких энергиях в ранней Вселенной

ДЖЕК О. БЕРНС

ЛЕТ ДЕСЯТЬ назад многие астрономы считали, что в больших масштабах Вселенная однообразна и уныла. В то время думали, что сгущения вещества, такие, как скопления галактик, разбросаны по пространству однородно. Однако наблюдения последних лет показали, что это не так. Повидимому, в самых больших масштабах, ныне доступных наблюдениям, светящееся вещество собрано в образования, имеющие несколько различных характерных форм. Громадные сверхскопления — иными словами, скопления скоплений галактик — существуют со столь же гигантскими пустотами, в которых светящегося вещества очень мало, если оно вообще там есть. Каково же происхождение таких структур? Как они возникли и почему?

В последние несколько лет в поисках ответа на эти вопросы объединили усилия ученые разных специальностей: астрономы, физики — специалисты в области элементарных частиц, космологи. Их совместная напряженная работа привела к коренному изменению представлений о структуре Вселенной. Роль астрономов заключается в поиске и картографировании очень больших структур, определении их общих характеристик; физики должны понять природу физических законов, управлявших процессами в ранней Вселенной и влиявших на формирование самых ранних структур; наконец, космологам предстоит точно установить, как эти ранние структуры образовались, под действием каких законов и как они эволюционировали к структурам, открытым и описанным астрономами.

Самыми большими из обнаруженных до сих пор структурами являются сверхскопления, которые выглядят как длинные волокна или оболочки, состоящие из многих скоплений галактик. Скопления галактик имеют примерно сферическую форму, мно-

гие из них насчитывают сотни или даже тысячи галактик. В состав сверхскопления могут входить десятки скоплений, подобно бусинкам на нитке. Самое большое сверхскопление имеет длину более 1 млрд. св. лет. Сверхскопления отделены друг от друга пустотами, плотность вещества в которых в сотни раз меньше, чем в сверхскоплениях.

Открытие сверхскоплений и пустот — одно из важнейших достижений наблюдательной астрономии за последнее десятилетие. Не менее существенные успехи в области физики элементарных частиц создают предпосылки к пониманию того, как возникли и развивались такие структуры. Наблюдаемые в настоящее время гигантские структуры являются следствием малых возмущений, которые возникли в ранней Вселенной. В ходе расширения и охлаждения Вселенной после Большого взрыва из единого фундаментального взаимодействия между элементарными частицами выделяются взаимодействия четырех типов, известные в настоящее время: гравитация, электромагнетизм, а также сильное и слабое ядерные взаимодействия. Разъединение сил и квантовый характер взаимодействий в ранней Вселенной породили ничтожные флуктуации в распределении плотности, которое иначе было бы однородной. По мере расширения эти флуктуации растут, становясь в конце концов сверхскоплениями. Таким образом, эти структуры представляют в некотором смысле «остатки» высокоэнергетических процессов, происходивших вскоре после рождения Вселенной.

Отправной точкой в понимании гигантских структур являются их картография, а также анализ их форм и пространственного распределения. Для составления карт сверхскоплений исследователь должен установить три координаты галактик и скоплений. Определение координат представляет

собой двухступенчатый процесс.

Первый шаг состоит в получении двумерного изображения распределения галактик и скоплений в том виде, как они наблюдаются с Земли. В 50-е годы в Паломарской обсерватории совместно с Национальным географическим обществом США было проведено фотографирование северной небесной полусферы и получены изображения объектов, в миллион раз более слабых, чем те, которые видны невооруженным глазом. В конце 1958 г. Дж. Эйбелл из Калифорнийского технологического института, изучая фотопластинки Паломарского обзора, открыл скопления галактик. Согласно его определению, скопление — это любая группа галактик, включающая не менее 50 ярких галактик в сфере радиусом 6,5 млн. св. лет. Эйбелл обнаружил 2712 скоплений; в некоторых из них при увеличении радиуса можно насчитать тысячи галактик.

Второй шаг в картографировании гигантских структур заключается в нахождении третьей координаты каждого объекта, т. е. в определении расстояния, на которое объект удален от Земли. Расстояние можно определить, изучая спектр излучения, которое испускает объект. Это возможно благодаря тому, что свет, испускаемый в атомных процессах в атмосферах звезд, из которых состоят галактики, особенно интенсивен при определенных частотах. Поскольку все галактики удаляются от нашей Галактики, в спектре излучения каждой галактики наблюдается «красное смещение», т. е. сдвиг полос в более длинноволновую область спектра (точно так же, как тон гудка удаляющегося автомобиля кажется более низким по сравнению с гудком стоящего автомобиля). Величина красного смещения — мера скорости удаления галактики. В 1929 г. Э. Хаббл установил, что удаление галактик от Земли вызвано общим расширением

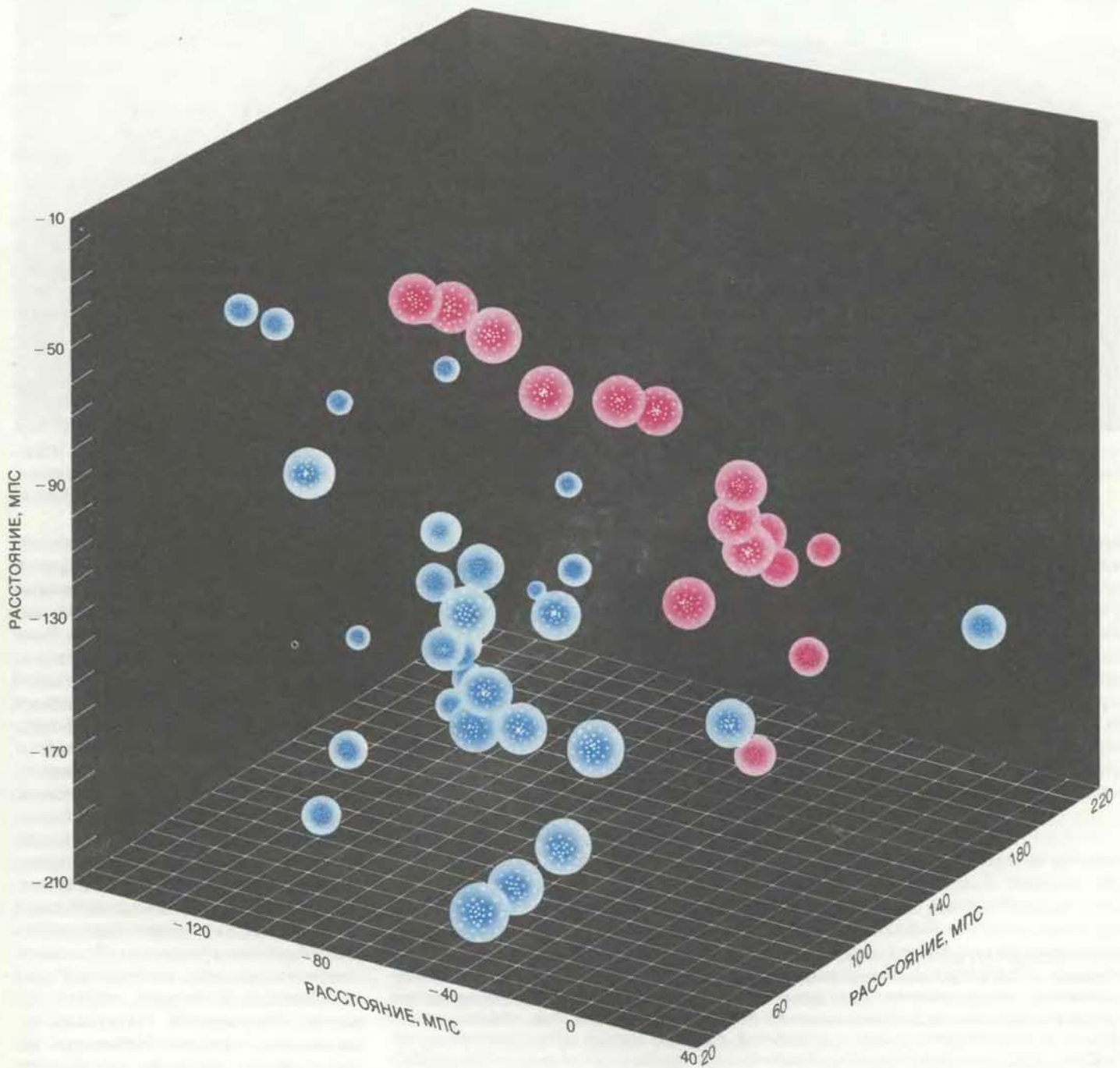
Вселенной, причем, чем дальше галактика, тем больше ее скорость и, следовательно, тем сильнее красное смещение. Именно поэтому, измерив красное смещение, можно определить расстояние объекта от Земли.

Вплоть до недавнего времени измерения красных смещений носили ограниченный характер, так как для этого были необходимы длительные наблюдения на больших телескопах. Выполнение обширных обзоров галактик существенно ускорилось благодаря

новым детекторам света, в которых эффективнее используется собираемое телескопом излучение. К настоящему времени самым полным обзором, потребовавшим пять лет для наблюдений и анализа данных, является обзор, выполненный Дж. Хукра, М. Дэвисом и их коллегами из Астрофизического центра Гарвардской обсерватории и Смитсоновской астрофизической обсерватории. Эта группа ученых определила красные смещения всех галактик северной небесной по-

лусферы, имеющих видимую звездную величину ярче 14,5 (такие объекты в 2500 раз слабее объектов, видимых невооруженным глазом). Наиболее удаленная галактика с предельной видимой величиной расположена на расстоянии 300 млн. св. лет.

Эти данные, дополненные красными смещениями галактик, которые измерил Р. Талли из Гавайского университета в Гонолулу, позволили составить полную карту Местного Сверхскопления (в котором находит-



НАИБОЛЬШАЯ ИЗВЕСТНАЯ СТРУКТУРА во Вселенной — это волокноподобное сверхскопление (красные сферы) или скопление скоплений галактик, которое лежит в области созвездий Персей и Пегас и имеет протяженность более 1 млрд. св. лет. Почти все светящееся вещество Вселенной собрано в сверхскопления, которые отделены

друг от друга огромными сферическими или эллиптическими пустотами. На этой иллюстрации, которая основана на модели Д. Батуски из Университета шт. Нью-Мексико, скопления галактик изображены в виде сфер. В такой системе Земля находится в начале координат (0, 0, 0); расстояния даны в мегапарсеках (1 Мпс = 3,26 млн. св. лет).

ся наша Галактика). Его ядро составляют по крайней мере 11 отдельных скоплений галактик, соединенных друг с другом «мостами», состоящими из отдельных галактик и имеющими низкую плотность. Вокруг ядра расположено сферическое гало диаметром около 100 млн. св. лет, состоящее из 50 других групп галактик и тысяч отдельных галактик. По-видимому, Местное Сверхскопление имеет внешние ответвления, свя-

зывающие его с несколькими удаленными сверхскоплениями.

ДРУГИМ источником чрезвычайно важной информации о сверхскоплениях служат обзоры областей с малыми угловыми размерами, но с большой глубиной, в которых измеряются красные смещения галактик. Например, этим способом были открыты структуры с размерами до нескольких сотен миллионов световых

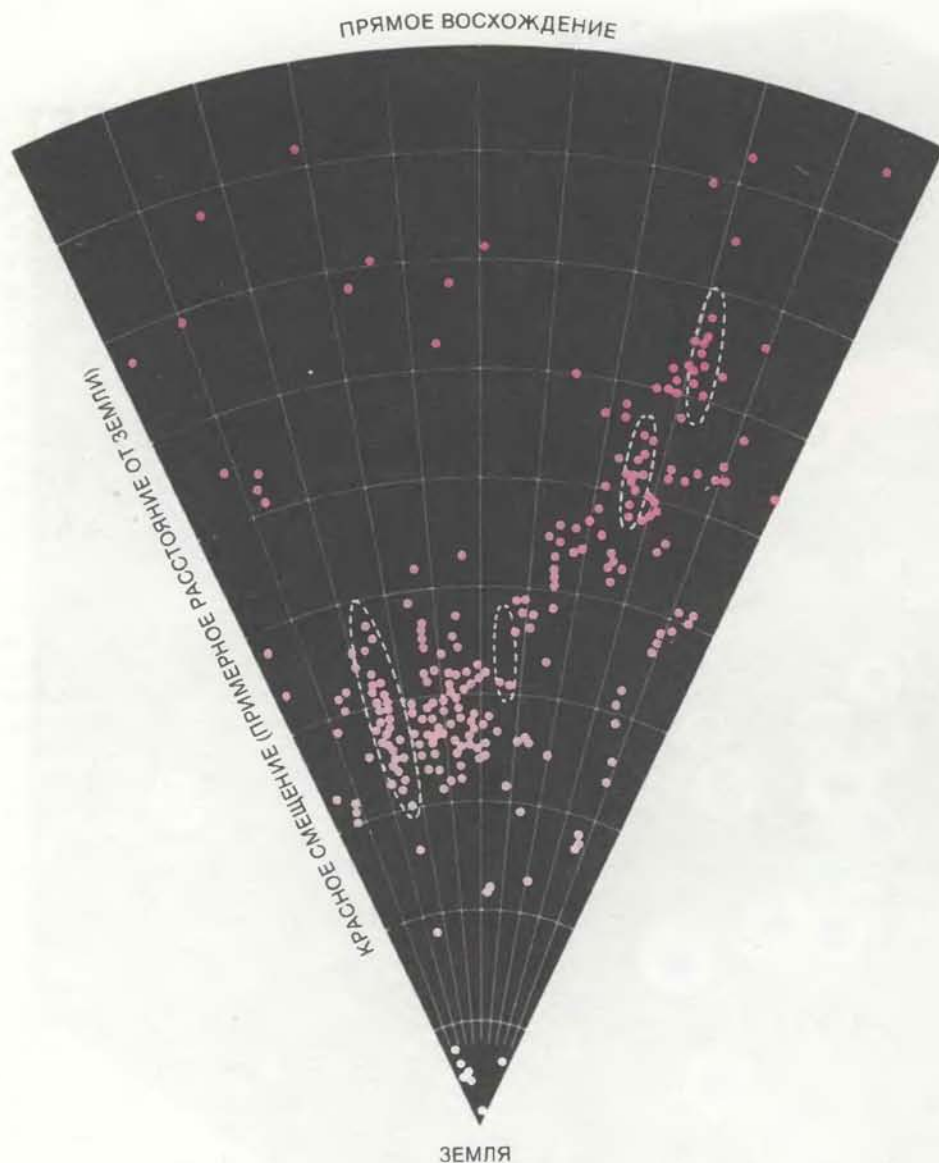
лет. Это открытие сделали в 1978 г. С. Грегори, Л. Томпсон и В. Тифт, работавшие в то время в Аризонском университете. Они наблюдали полосу на небе шириной всего 15° и обнаружили цепочку галактик, соединяющую два богатых скопления, известных под названиями Кома и Эйбелл 1367. Эти ученые открыли также примерно сферическую пустоту, которая расположена перед сверхскоплением и почти столь же велика, как само сверхскопление.

За время, прошедшее после работы Грегори, Томпсона и Тифта, было открыто и исследовано около двенадцати других сверхскоплений, среди которых и те, что расположены в созвездиях Персей, Геркулес, Большая Медведица и Рыбы. Сверхскопление в Геркулесе имеет длину более 260 млн. св. лет и состоит из шести скоплений Эйбелла, а также соединяющих их мостов.

В 1981 г. Р. Киршнер и его коллеги из Мичиганского университета открыли огромную пустоту в созвездии Волопас. Она имеет диаметр около 250 млн. св. лет и ограничена «стенками», построенными из галактик. Интересно, что ее центральная область свободна от обычных эллиптических и спиральных галактик, хотя в последней работе Киршнера и Дж. Мули из Университета шт. Нью-Мексико отмечается, что, возможно, в ней присутствует несколько слабых карликовых галактик.

В более поздних исследованиях В. де Лапаре, М. Геллер и Хукри из Астрофизического центра Гарвардского университета и Смитсоновской астрофизической обсерватории были продолжены измерения красных смещений галактик вплоть до звездной величины 15,5 в полосе с размерами 117° на 6° , проходящей через область ранее упоминавшегося обзора, выполненного в Астрофизическом центре. Эти ученые обнаружили несколько волокон, исходящих из богатого скопления Кома. В промежутках между волокнами расположены пустоты, размеры которых достигают 100 млн. св. лет. Основываясь на результатах наблюдений, эти ученые предложили для объяснения строения Вселенной теорию «пузырей», согласно которой галактики и скопления образуются вдоль поверхностей гигантской пузырьчатой структуры. Небольшие пузыри могут достигать по размеру диаметра пустой области, открытой Киршнером в 1981 г.

НАСКОЛЬКО велики наибольшие сверхскопления? Этот вопрос пока остается без ответа отчасти потому, что достаточно подробно иссле-



КЛИНОВИДНАЯ ДИАГРАММА, на которой изображена часть сверхскопления Персей — Пегас (волокноподобное образование справа). Точки представляют галактики, положения которых даны в соответствии с прямым восхождением (одна из величин, задающих видимое положение объекта при наблюдении с Земли) и расстоянием от Земли (величина, которую нельзя непосредственно измерить). Расстояния галактик от Земли рассчитываются по измерениям красного смещения в их спектрах, которые прямо пропорциональны скоростям их удаления от Земли. Удаление галактик вызвано общим расширением Вселенной, и чем дальше находится галактика, тем, как правило, больше красное смещение в ее спектре. Скопления Эйбелла (наиболее яркие скопления галактик, для которых составлены лучшие каталоги) очерчены белыми пунктирными линиями. Данные по красным смещениям для многих галактик предоставил Дж. Хукри из Астрофизического центра обсерватории Гарвардского университета и Смитсоновской астрофизической обсерватории.



СКОПЛЕНИЕ ГАЛАКТИК в созвездии Дева, которое имеет примерно сферическую форму и включает почти все известные типы галактик. Сверхскопления состоят из десят-

ков подобных скоплений (которые в свою очередь могут насчитывать сотни или тысячи галактик), соединенных подобно бусинкам на нитке.

довано лишь менее 1% объема видимой Вселенной, имеющей общий размер несколько миллиардов световых лет. Внутри этого объема, вероятно, находится более миллиона галактик, и время, требуемое для измерения их красных смещений на современных телескопах, настолько велико, что сделать это сейчас невозможно.

По-видимому, следовало бы начать с приближенного определения мест вероятного расположения новых сверхскоплений и затем подробно их изучить. Если бы удалось найти какие-нибудь просто определяемые признаки того, что в рассматриваемой области пространства содержится сверхскопление, то астрономы получили бы реальную возможность для быстрого выявления некоторых из больших структур Вселенной.

Примерно в течение четырех лет Д. Батуски (мой аспирант в Университете шт. Нью-Мексико) и я пытались развить этот подход. Отправной точкой послужил тот факт, что все сверхскопления, открытые к тому времени, содержали богатые скопления (т. е. скопления, насчитывающие большое число галактик), которые соединялись между собой галактиче-

скими мостами низкой плотности. Поэтому можно было попробовать искать крупномасштабные структуры в местах тесных группировок богатых скоплений. В частности, мы считали, что особенно подходящими являются скопления Эйбелла, которые в основном относятся к богатым скоплениям и положения которых занесены в каталоги. С их помощью можно найти и определить положения по крайней мере самых богатых сврхскоплений.

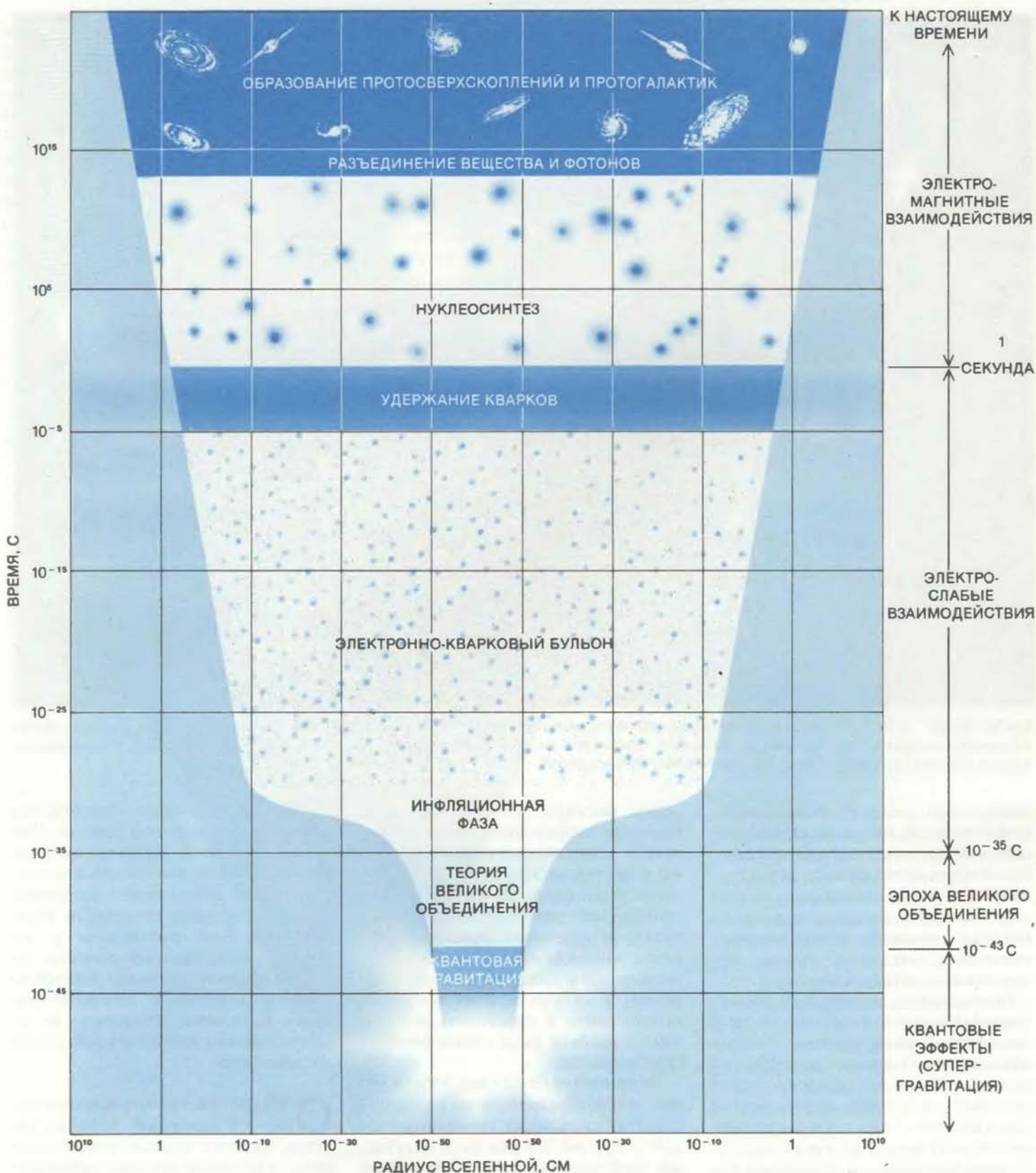
Уже в начале 60-х годов Эйбелл понял, что обнаруженные им скопления галактик сами могут группироваться друг с другом, однако из-за отсутствия необходимых данных измерений красных смещений он не смог проверить это предположение. К настоящему времени измерены красные смещения более чем 560 скоплений Эйбелла. (Красное смещение скопления определяется путем измерения красных смещений от трех до пяти ярчайших галактик данного скопления; для выполнения этой процедуры требуется не так уж много времени и, как эмпирически установлено, она дает вполне точные результаты.)

Сначала мы с Батуски собрали

опубликованные и неопубликованные данные всех измерений красных смещений скоплений Эйбелла, расположенных не далее чем 1,4 млрд. св. лет. Расстояния эйбелловских скоплений, красные смещения которых не были измерены, мы определили с помощью эмпирического правила, согласно которому величина десятой по яркости галактики в скоплении примерно одинакова, и поэтому с ее помощью можно рассчитать расстояние до скопления.

ОПРЕДЕЛИВ трехмерные положения 652 скоплений Эйбелла, Батуски составил компьютерный алгоритм, с помощью которого проводился поиск структур, образованных скоплениями. Алгоритм был основан на методе, известном под названием перколяция*. Около случайно выбранного скопления Эйбелла компьютер проверял, нет ли другого скопле-

* Использовать перколяцию в исследованиях крупномасштабной структуры Вселенной предложил в 1982 г. доктор физико-математических наук С. Ф. Шандарин из Института прикладной математики АН СССР. — *Прим. перев.*



ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ СОБЫТИЙ в ранней Вселенной определяла наблюдаемую сейчас ее крупномасштабную структуру. В течение первых 10^{-43} с после Большого взрыва четыре известные в настоящее время взаимодействия были объединены. Квантовые флуктуации на этой стадии могли создать те «затравки», из которых позже образовалась крупномасштабная структура. Через 10^{-43} с гравитация отделилась от остальных трех сил, приобретая специфические черты и став «посредником» между различными взаимодействиями. Через 10^{-35} с сильное ядерное взаимодействие отделилось от электрослабого взаимодействия, что вызвало быстрое расширение Вселенной. С этого момента до 10^{-6} с Вселенная представляла собой горячий «бульон» из кварков и электронов. Когда Вселенной «исполнилось» 1 с, электромагнитное и слабое взаимодейст-

вия разделились. К этому времени Вселенная охладилась настолько, что кварки смогли объединиться, образовав протоны. В течение следующих 100 000 лет вещество и излучение были сильно связаны: в областях, где была повышена плотность вещества, плотность излучения была также выше. В этот период протоны и электроны образовали нейтроны, а нейтроны и протоны — ядра гелия, дейтерия и лития; этот процесс известен под названием нуклеосинтеза. Потом вещество разъединилось с излучением, и Вселенная стала прозрачной: излучение получило возможность свободно распространяться. На этой стадии возмущения плотности вещества начали расти, что привело к образованию протосверхскоплений — структур, которые впоследствии проэволюционировали в галактики и сверхскопления.

ния в сфере радиусом 130 млн. св. лет. Если в этом объеме находилось другое скопление Эйбелла, то они оба считались принадлежащими одному образованию, и компьютер повторял процедуру поиска нового скопления вокруг второго скопления. Таким образом был исследован весь объем, в котором расположены отобранные скопления Эйбелла. Любая область, где было обнаружено соседство скоплений, рассматривалась в качестве кандидата в сверхскопление.

С помощью данного алгоритма мы обнаружили 102 предполагаемых сверхскопления. Чтобы проверить «законность» нашего алгоритма (и тем самым значимость полученного результата), была проведена серия модельных расчетов, в которых 652 скопления разбрасывались по такому же объему случайным образом. Затем, чтобы определить, сколько кандидатов в сверхскопления описанный алгоритм обнаружит в хаотическом распределении, он был применен к этим модельным распределениям. Сравнение показало, что обнаружение в хаотическом распределении кандидата в сверхскопление, подобное действительному, но не имеющее реального значения, возможно менее чем в одном случае из миллиона.

Позже мы убедились, что наш алгоритм «распознал» все известные к тому времени сверхскопления; это уменьшило опасения, что могут существовать сверхскопления, которые он не способен обнаружить. Самое главное различие между ранее известными и определенными по нашему алгоритму сверхскоплениями заключалось в том, что сверхскопления, определенные по нашему алгоритму, оказались намного больше, чем полагали ранее. Например, если раньше считали, что сверхскопление Геркулеса содержит шесть скоплений Эйбелла, то наш метод показал, что оно, по-видимому, состоит из 42 скоплений.

Кроме поиска кандидатов в сверхскопления, мы искали «кандидаты в пустоты»; используя другой алгоритм, мы регистрировали области пространства диаметром не менее 160 млн. св. лет, в которых не содержалось ни одного скопления Эйбелла. Было найдено 29 предполагаемых пустот, имеющих сферическую или эллиптическую форму.

Отождествив кандидаты в сверхскопления, в качестве следующего шага мы попытались выяснить, действительно ли входящие в них скопления Эйбелла соединены друг с другом. Это долговременная программа, рассчитанная на многие годы. Мы начали ее осуществление с измерения красных смещений тех богатых скоплений, которые по предварительным

оценкам положений и красных смещений входят в одно из трех наибольших сверхскоплений; были проверены также несколько более бедных скоплений и отдельные галактики, которые, по-видимому, лежат между скоплениями Эйбелла в предполагаемых сверхскоплениях. Для уверенности в том, что наша исследовательская методика не ориентирована исключительно на выделение волоконподобных сверхскоплений, мы также измерили красные смещения скоплений и галактик, лежащих по сторонам от предполагаемых «мостов».

ОСОБЕННО интересный результат нашего исследования — открытие вытянутого волокна, состоящего из галактик и скоплений, в области созвездий Персей и Пегас общей длиной более 1 млрд. св. лет. Из известных структур эта является наибольшей во Вселенной; она начинается сверхскоплением Персей (которое было открыто ранее) и, плавно изгибаясь, уходит в южном направлении, удаляясь от Земли по радиальному направлению. Это волокно состоит из 16 эйбелловских скоплений, выстроенных в линию с поразительной точностью; между скоплениями нигде нет разрыва, большего 160 млн. св. лет. Промежутки между скоплениями частично заполнены бедными скоплениями и отдельными галактиками.

Это волокно особенно поразительно, потому что его окружают три пустые области. Каждая полость, имеющая диаметр примерно 300 млн. св. лет, не содержит богатых скоплений и относительно свободна от ярких галактик. Мы уверены, что эти пустоты реальны, а не являются просто областями, которые кажутся темными из-за того, что они закрыты пылевыми облаками в нашей Галактике; большинство волокон и почти все пустоты расположены вдали от плоскости нашей Галактики.

Возможно, это волокно даже еще длиннее, чем кажется, и не оканчивается сверхскоплением Персей. Несколько лет назад Р. Джиованелли и М. Хеймс из Корнеллского университета предположили, что сверхскопление Персей продолжается в северную сторону, где, по-видимому, оно смыкается со сверхскоплением Большая Медведица. Это соединение очень трудно проследить, так как область возможного смыкания сверхскоплений лежит за совершенно непрозрачной плоскостью нашей Галактики. Джиованелли и Хеймс проводили наблюдения в радиодиапазоне на длине волны 21 см, где излучение не поглощается пылью. Если бы оказалось, что эти два сверхскопления действительно соединяются друг с

другом, то общая длина волокна превышала бы 1,3 млрд. св. лет.

Может ли это волокно быть «случайной» цепочкой скоплений и галактик? Для проверки этого предположения мы с Батуски провели другую серию модельных расчетов, в которых компьютер распределял скопления по занимаемому ими объему случайным образом. При этом получаемое распределение псевдоскоплений обладало корреляционными свойствами реальных скоплений Эйбелла. В случайных распределениях нам не удалось ни разу воспроизвести волокно, похожее на сверхскопление Персей — Пегас, и мы пришли к заключению, что случайное выстраивание такого числа скоплений на столь большом расстоянии имеет вероятность менее 0,3%. Однако я должен добавить, что волокно Персей — Пегас представляет редкий объект и в распределении скоплений из каталога Эйбелла; других сверхскоплений такой протяженности и такой степени упорядоченности мы не знаем. Более определенно это станет известно только после того, как будет исследован гораздо больший объем пространства.

Наш анализ каталога Эйбелла показывает, что сверхскопления и пустоты представляют собой распространенные структуры во Вселенной. Возникает вопрос, не существует ли общей единой структуры, образованной ими? Являются ли сверхскопления, волокна и пустоты независимыми друг от друга или же они каким-то образом связаны и формируют единый космический узор? В 1980 г. Я. Эйнасто, М. Йизвээр и Э. Саар из Института астрофизики и физики атмосферы АН Эстонской ССР предположили, что сверхскопления и пустоты образуют ячеистую структуру. Тогда Вселенная напоминала бы гигантскую губку (или швейцарский сыр), так как большая часть светящегося вещества сосредоточена в стенках ячеек, разделенных большими пустыми областями. Вытянутые линейные волокна возникали бы на пересечениях стенок ячеек. В настоящее время еще рано говорить о том, обладает ли Вселенная таким регулярным строением или же она состоит из случайно распределенных сверхскоплений, часть которых пересекается.

КАК ОБЪЯСНИТЬ существование таких гигантских структур? Ответ на этот вопрос следует искать, обратившись к прошлому — к тому времени, когда вскоре после Большого взрыва шли высокоэнергетичные процессы. Современный прогресс в развитии физики частиц высоких энергий привел к открытию многих явлений, преобладающих в условиях той эпо-

хи. Попытки создать теорию великого объединения всех сил, существующих в природе, привели физиков к анализу процессов при очень высоких температурах и энергиях. Такие усло-

вия могли существовать только в течение крошечных долей секунды после рождения Вселенной.

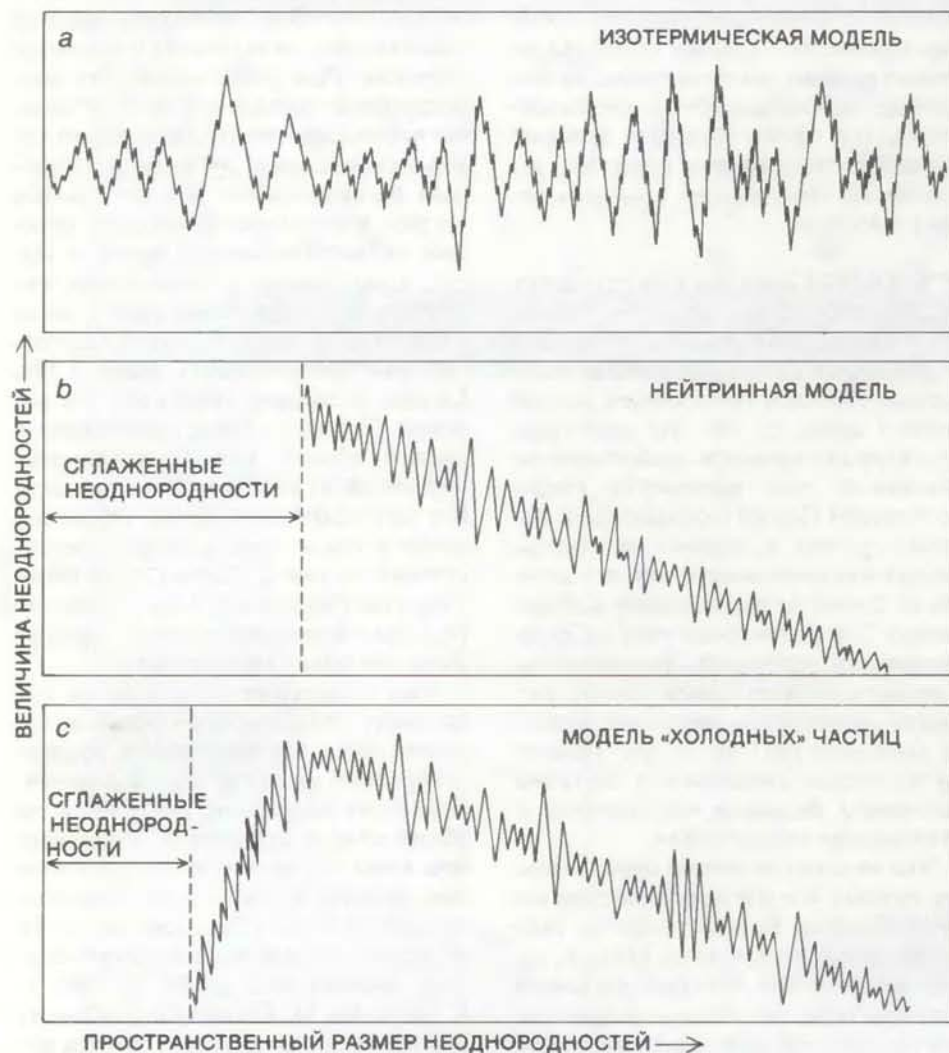
До сих пор не существует адекватной теории, описывающей поведение

Вселенной в первые 10^{-43} с после Большого взрыва. В то время гравитационные поля во Вселенной должны были быть чрезвычайно сильными и действовать на очень малых расстояниях. Чтобы правильно описать такие условия, потребуется теория, которая объединит общую теорию относительности — принятую в настоящее время теорию гравитации — с квантовой теорией. До сих пор теория квантовой гравитации в сколь-нибудь полной форме не сформулирована (см. статью: Б. Де Витт. Квантовая гравитация, «В мире науки», 1984, № 2). Флуктуации плотности вещества, из которых впоследствии развиваются сверхскопления и галактики, вероятно, появились как квантовые флуктуации (т. е. случайно возникающие неоднородности в распределении плотности вещества и энергии), зародившиеся в период, когда Вселенная имела размер менее 10^{-50} см.

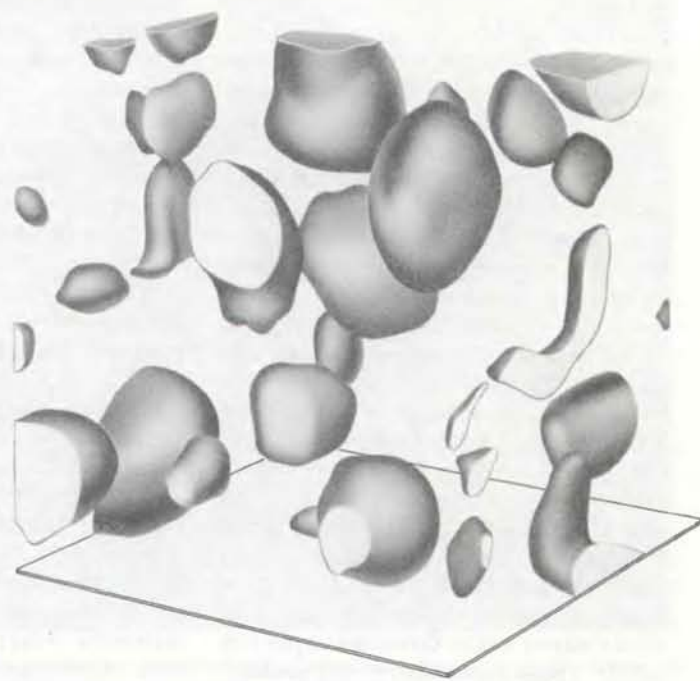
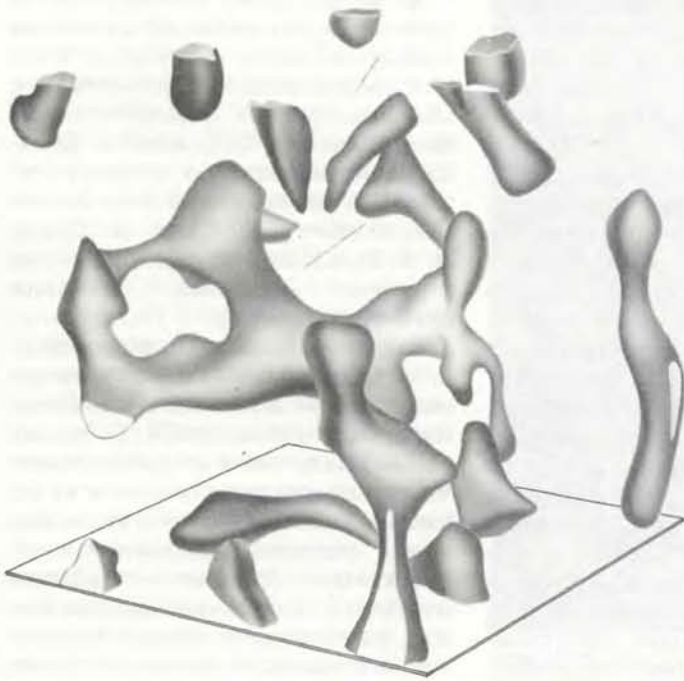
Через 10^{-43} с гравитация начала «отделяться», т. е. стала приобретать особенности, которые отличают ее от других сил, оставшихся пока объединенными, и стала служить посредником между различными взаимодействиями. С этого времени гравитация развивалась «собственным путем», и в настоящее время она является доминирующей силой, действующей на больших расстояниях. Объединенными остались следующие силы: электромагнитные, которые в современной Вселенной действуют как в макроскопических, так и микроскопических масштабах, они доминируют в атомных масштабах; слабые ядерные силы, которые действуют только в атомных ядрах, они ответственны за радиоактивный распад и другие радиоактивные процессы; и сильное ядерное взаимодействие, которое существует только внутри ядер и связывает кварки, образуя такие частицы, как протоны.

Примерно начиная с 10^{-35} с после Большого взрыва, сильное взаимодействие отделилось от электрослабых сил (объединенного электромагнитного и слабого взаимодействий). А. Гут из Массачусетского технологического института предположил, что отделению слабых сил предшествует фаза чрезвычайно быстрого расширения, или инфляционная фаза, во время которой размеры Вселенной увеличились на 50 порядков величины за 10^{-32} с (см. статью: А. Гут, П. Стейнхард. Раздувающаяся Вселенная, «В мире науки», 1984, № 7).

В промежутке времени между 10^{-35} и 10^{-6} с Вселенная представляла собой очень горячий «бульон» из электронов и свободных кварков (в то время кварки еще не были связаны друг с



НЕОДНОРОДНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ вещества в ранней Вселенной могли возникать в различных масштабах. Масштаб неоднородности, развившейся раньше всех, определяет размер структур, образовавшихся первыми, и поэтому играет важную роль, влияя на характер крупномасштабной структуры поздней Вселенной. В изотермической модели (а), когда фон теплового излучения в ранней Вселенной был приблизительно одинаков (несмотря на то, что вещество было распределено неоднородно), возмущения возникают на всех масштабах. Поэтому первыми образуются самые небольшие и простые объекты типа протогалактик, которые позднее собираются в протоскопления и протосверхскопления благодаря силам гравитационного притяжения. Эта модель называется «снизу — вверх», потому что первыми образуются наименьшие объекты. Согласно другой модели (b), в ранней Вселенной преобладали быстро движущиеся нейтрино, которые разрушали неоднородности плотности подобно тому, как быстро летящее пушечное ядро разрушает каменную стену. После того как нейтрино замедлилось, неоднородности получили возможность расти. Однако маломасштабные возмущения к тому времени были уже сглажены, поэтому первыми усилились возмущения, имеющие масштаб горизонта Вселенной (размер горизонта равен расстоянию, которое мог пройти фотон с момента Большого взрыва). Возмущения в других, еще больших масштабах также растут с расширением Вселенной, однако они не имеют такого значения в формировании ее структуры. Эта модель называется «сверху — вниз», потому что первыми образуются наибольшие объекты (протосверхскопления), которые затем фрагментируют на структуры меньших размеров. В третьем варианте (с) доминирующими частицами являются не нейтрино, а другие, более тяжелые частицы, существование которых предсказывается новой теорией суперсимметрии. Они медленнее (холоднее), чем нейтрино, и потому неоднородности начинают расти раньше и в меньших масштабах. Вслед за мелкомасштабными неоднородностями быстро растут крупномасштабные. Такой вариант называется гибридной моделью «снизу — вверх».



СВЕРХСКОПЛЕНИЯ И ПУСТОТЫ, которые образовались бы в нейтринной Вселенной, согласно модельным расчетам, выполненным на суперкомпьютерах Дж. Сентрелла из Дрексельского университета и А. Мелоттом из Чикагского

университета. Эти модели предсказывают, что вещество собирается в оболочечные структуры и волокна (*слева*), перемежающиеся в ячеистой структуре сферическими или эллиптическими пустотами (*справа*).

другом в более крупные частицы). Температура Вселенной была такая высокая, что кварки не могли соединиться друг с другом, чтобы образовывать такие частицы, как протоны: даже соединившись друг с другом, кварки немедленно были бы разбросаны из-за высокой тепловой энергии. К концу 10^{-6} с Вселенная охладилась достаточно для того, чтобы смогли образоваться протоны. Получены экспериментальные свидетельства того, что с тех пор свободные кварки больше не существуют.

КОГДА возраст Вселенной достиг примерно 1 с, электромагнитные и слабые силы разъединились. Об этой эпохе в настоящее время известно очень много, потому что в отличие от энергий, при которых происходит великое объединение электрослабого и сильного взаимодействия, энергии, необходимые для наблюдения объединения электромагнитных и слабых сил, могут быть достигнуты на существующих ускорителях. В середине 70-х годов С. Вайнберг, А. Салам и С. Глэшоу первыми описали, как происходит объединение электромагнитных и слабых сил при высоких энергиях, и в 1983 г. К. Руббин и его коллеги открыли частицы, названные *W*- и *Z*-бозонами, которые переносят электрослабые взаимодействия.

В течение примерно 100 000 лет, следующих за первой секундой, во Вселенной преобладало излучение,

оставшееся от первичного взрыва. Вещество и излучение были сильно связаны друг с другом; это означало, что в тех областях, где была повышена плотность вещества, была повышена и плотность излучения. Во время этого периода часть протонов соединилась с электронами, образовав нейтроны; начался также процесс нуклеосинтеза, в котором ядра водорода сливались и образовывали более тяжелые ядра гелия, дейтерия и лития.

В конце этого периода, через 100 000 лет после рождения Вселенной, вещество начало разъединяться с излучением и Вселенная впервые стала прозрачной: излучение могло распространяться во Вселенной без заметного влияния на него со стороны вещества, и флуктуации плотности вещества перестали быть согласованными с флуктуациями плотности излучения. Эта эпоха отмечена также тем, что с нее начался период быстрого роста «затравочных» первичных флуктуаций, в результате которого возникли сверхскопления и галактики. Эта эра, в которой доминирует вещество, продолжается до настоящего времени и длится около 15 млрд. лет после Большого взрыва.

ЧАСТИЦЫ, образовавшиеся на различных фазах ранней Вселенной, оказывали сильное влияние на формирование ее структуры. Малые флуктуации в пространственном распределении плотности этих частиц

в конце концов выросли в сверхскопления.

Никогда, даже в самые ранние эпохи, Вселенная не была совершенно однородной. Всегда присутствующие квантово-механические флуктуации были особенно важны в эру квантовой гравитации. Кроме того, разделение фундаментальных сил носило турбулентный дезорганизующий характер. Флуктуации плотности, которые в результате эволюции привели к образованию галактик, скоплений и сверхскоплений, могли возникнуть многими путями. Проследить эти пути — задача космологов.

По мере развития физики и астрономии космологи получают больше информации и могут строить более развитые теории. В последние годы были предложены три основных типа теорий, объясняющих образование ранних структур.

Одна из них, названная моделью «снизу — вверх», создана П. Пиблсом и его коллегами из Принстонского университета в конце 60-х — начале 70-х годов. Эти авторы изучали развитие возмущений плотности вещества в гипотетической модели ранней Вселенной, в которой преобладали барионы (обычное вещество, состоящее из протонов и нейтронов). Для упрощения они ввели предположение, что возмущения плотности были изотермическими, т. е. распределение излучения считалось однородным (следовательно, однород-

ной была и температура), тогда как вещество во Вселенной предполагалось скупенным. При этом рост неоднородностей в распределении массы приводил сначала к образованию протогалактик, имеющих массы в диапазоне от 100 тыс. до 1 млн. солнечных масс. Затем протогалактики становились галактиками, которые группировались в скопления под действием сил взаимного гравитационного притяжения. Этот сценарий называется моделью «снизу — вверх», потому что малые структуры (галактики) образуются первыми, а большие структуры (сверхскопления) формируются позднее.

Модель «снизу — вверх» столкнулась с большими трудностями в конце 70-х годов, когда были открыты сверхскопления протяженностью в сотни миллионов световых лет. Для образования таких больших структур путем гравитационного скупивания галактик просто не хватило бы времени, протекшего с эпохи Большого взрыва.

В МОДЕЛЯХ второго типа рассматриваются адиабатические флуктуации плотности (т. е. флуктуации, в которых количество теплового излучения или теплоты в данном количестве вещества остается постоянным, даже если пространственная плотность вещества флуктуирует с

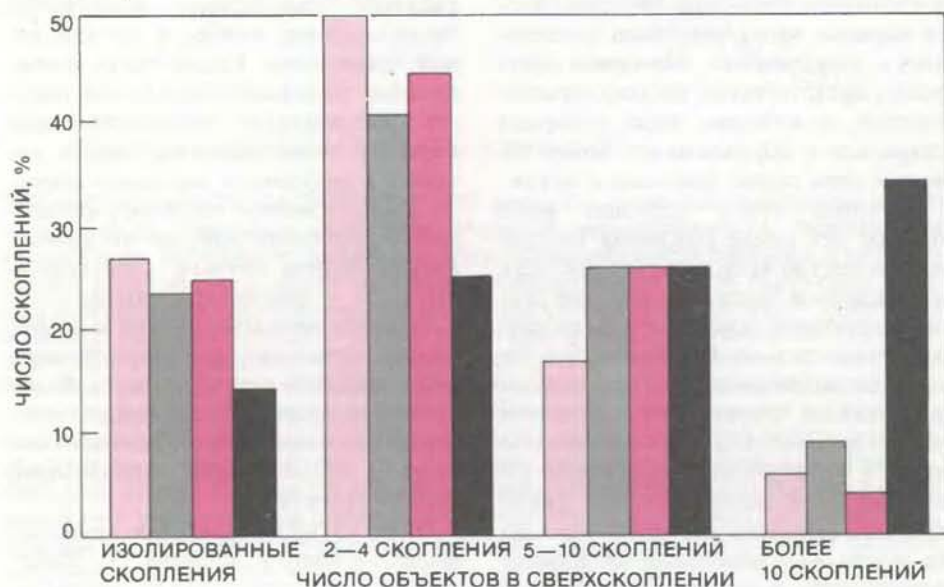
течением времени). В таких моделях отношение плотности излучения к плотности вещества должно быть одинаковым во всех областях пространства, так что распределение излучения неоднородно в соответствии с неоднородным распределением вещества. Величина и распределение таких флуктуаций плотности изучались в начале 70-х годов независимо Э. Гаррисоном из Массачусетского университета в Амхерсте и Я. Б. Зельдовичем из Института физических проблем АН СССР. Как показал Гут, подобные распределения могли бы возникнуть в рамках предложенной им инфляционной модели.

В раннем варианте изотермической модели считалось, что вариации плотности возникали на всех масштабах. В отличие от нее в адиабатической модели допускались только возмущения, охватывающие очень большие пространственные масштабы, что связано с тем, что динамика взаимодействия между частицами и излучением приводила к сглаживанию возмущений в малых масштабах. Поэтому в этой модели первыми возникали протосверхскопления, т. е. диффузные объекты — предшественники сверхскоплений, а галактики образовывались позднее путем фрагментации протосверхскоплений. Этот процесс описывается моделью «сверху — вниз».

Я. Б. Зельдович показал, что на ранних стадиях протосверхскопления преимущественно сжимаются в одном направлении, в результате чего они приобретают форму сплюснутых «блинов». Образование линейных волоконподобных структур возможно в местах пересечения блинов (см. статью: Дж. Силк, А. Салаи, Я. Б. Зельдович. Крупномасштабная структура Вселенной, «В мире науки», 1983, № 12).

Ранние варианты модели «сверху — вниз» обладали одним главным недостатком. В первоначальной формулировке этой модели Я. Б. Зельдович полагал, что в настоящее время Вселенная состоит в основном из барионов. Однако из-за того, что возмущения считались адиабатическими, достаточно большие возмущения плотности неизбежно сопровождались бы столь же большими флуктуациями фонового излучения. А это несовместимо с надежно установленным при наблюдениях фактом, что фоновое излучение, заполняющее Вселенную, практически изотропно (одинаково во всех направлениях).

Модель «сверху — вниз» была «спасена» путем отказа от предположения, что Вселенная состоит преимущественно из барионов. Хотя Земля построена почти исключительно из такого «обычного» вещества, во Вселенной в целом может преобладать



РАЗМЕРЫ СВЕРХСКОПЛЕНИЙ, которые образуются согласно различным моделям, не согласуются с наблюдаемым распределением скоплений Эйбелла. В частности, все модели предсказывают высокий процент изолированных скоплений и небольших сверхскоплений, и ни одна из моделей не объясняет большого числа очень крупных сверхскоплений, которые существуют в действительности.

- ИЗОТЕРМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
- НЕЙТРИННАЯ МОДЕЛЬ
- МОДЕЛЬ «ХОЛОДНЫХ» ЧАСТИЦ
- РЕАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СКОПЛЕНИЙ ЭЙБЕЛЛА

Издательство МИР предлагает:

Л. Ракич
**СИСТЕМЫ
РЕГУЛЯЦИИ
ПОВЕДЕНИЯ**
Перевод с сербского

Книга профессора Белградского университета посвящена роли тормозных механизмов в организации поведения млекопитающих. Рассмотрены значение условных рефлексов для деятельности мозга, участие отдельных структур мозга, в частности хвостатого ядра и стриатума, в регуляции поведения.

Для физиологов, нейрофизиологов, врачей-невропатологов.

1984, 8 л. Цена 85 к.

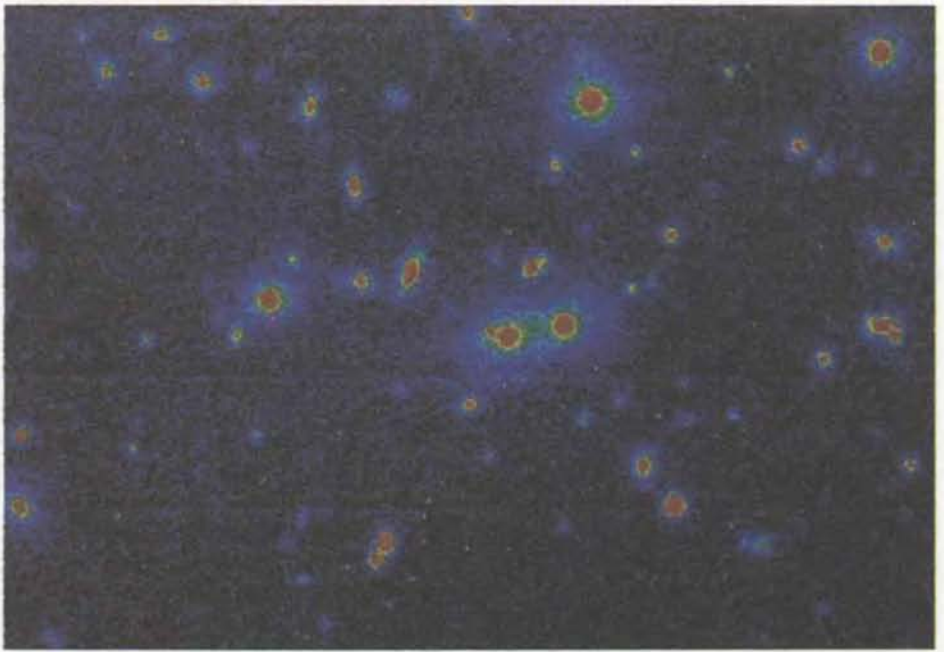


какой-нибудь другой вид вещества. В частности, Вселенная может быть построена из такого вещества, которое в отличие от барионов не участвует во взаимодействиях, приводящих к излучению фотонов. Такое вещество было бы «темным» (невидимым), поэтому его трудно наблюдать непосредственно. Сейчас уже есть надежные данные наблюдений, позволяющие считать, что какой-то вид темного вещества присутствует в больших количествах в различных системах. Например, определенные скопления галактик должны обладать в десятки или сотни раз большей массой, чем масса, приписываемая светящемуся веществу, которое содержится в них, иначе они не могли бы удерживать одной лишь силой гравитационного притяжения входящие в них галактики.

Из чего может состоять темное вещество? Одним из кандидатов служит нейтрино. Нейтрино — это слабовзаимодействующая частица (одна из тех, что практически не взаимодействуют с другими частицами, такими, как барионы и фотоны), которую многие годы считали безмассовой. Однако теоретические соображения и некоторые, правда, неподтвержденные эксперименты в последнее время указывают на то, что нейтрино имеет массу и поэтому может претендовать на роль составляющей темного вещества.

Если нейтрино действительно обладает массой, то оно может играть чрезвычайно важную роль в модели блинов. Нейтрино разъединилось с излучением раньше, чем обычное вещество. Во время разъединения нейтрино были очень горячими и двигались со скоростями, близкими к скорости света. Вследствие высокой скорости и малой вероятности столкнуться друг с другом нейтрино свободно разлетались по ранней Вселенной: их потоки были направлены во все стороны и имели большие скорости, причем при своем движении они не подвергались воздействию со стороны неоднородностей в распределении энергии и плотности. Такие высокоскоростные разлетающиеся частицы стремятся рассеивать все неоднородности плотности вещества, подобно тому как пушечное ядро, летящее с большой скоростью, сметает легкое каменное заграждение, практически не замедляя своего движения.

По мере расширения Вселенной нейтрино охлаждались; после того как их скорость стала меньше 0,1 скорости света, они перестали сглаживать неоднородности плотности, которые теперь начали расти. Эти первые неоднородности имели размеры порядка масштаба горизонта (т. е. расстоя-



БОГАТОЕ СКОПЛЕНИЕ галактик в созвездии Северная Корона; изображение получено с помощью прибора с зарядовой связью (оптического светоприемника) на обсерватории Капилла-Пик Университета шт. Нью-Мексико. Искусственные цвета кодируют яркость оптического изображения: красным показаны наиболее яркие области, синим — наименее яркие. Оптические светоприемники требуют меньше света и более короткого времени наблюдения, чем фотографические пластинки, поэтому с их помощью можно получить более детальную информацию о размере галактик, их цвете и ориентации; светоприемники позволяют проводить более обширные и глубокие обзоры структуры. Лучшее знание форм и распределения очень больших структур даст необходимые сведения, подтверждающие теорию их происхождения. Изображение получено с помощью оборудования, предоставленного Национальным научным фондом, Исследовательской корпорацией и Университетом шт. Нью-Мексико.

ния, которое может пройти фотон за время, протекшее после Большого взрыва), так как все неоднородности, охватывающие меньшие размеры, были выровнены свободно разлетающимися нейтрино. В этом случае, как и согласно первоначально предложенной модели блинов, первыми выделяются наибольшие структуры — протосверхскопления. Образование протосверхскоплений начиналось с формирования неоднородностей в распределении плотности нейтрино. Медленно движущиеся нейтрино могли быть остановлены и захвачены неоднородностями плотности, подобно тому как пушечное ядро, замедлившись, ударяется о каменную стену и останавливается, увеличивая ее массу. После этого барионы падали на нейтринные сверхскопления, образуя в конце концов наблюдаемые сегодня структуры.

ИЗ МОДЕЛИ, согласно которой во Вселенной доминируют нейтрино, следуют три важных предсказания, которые можно проверить с помощью новых наблюдений. Во-первых, в ней предсказывается, что в пустотах должно оставаться очень мало как темного, так и светящегося ве-

щества; любые агрегаты вещества должны образовываться из ранних неоднородностей, формирующих протоскопления вокруг пустот. Последние наблюдения для проверки этого предсказания были сделаны Киршнером и его коллегами в области пустоты в созвездии Волопас, а также Грегори с соавторами в области пустоты в созвездии Кома. Уже получены предварительные результаты, которые свидетельствуют, что в области пустоты в Волопасе, возможно, находятся несколько карликовых галактик. Если эти данные выдержат пристрастную проверку, то для описания в рамках нейтринной модели они будут представлять серьезную трудность.

Второе проверяемое наблюдением предсказание модели блинов в нейтринной Вселенной состоит в том, что наибольшие оси галактик должны быть преимущественно выстроены вдоль кратчайшей оси сверхскопления, в котором они расположены (т. е. по оси, вдоль которой первоначально сжимался блин). Такое выстраивание сохраняет «память» об одномерном сжатии, в результате которого образовалось сверхскопление и входящие в него галактики; этот

тест был предложен С. Грегори и Л. Томпсоном. Б. Лаубтер, Грегори и я проверяли это предсказание, подробно исследовав ориентации галактик в сверхскоплении Персей.

Третий способ проверки нейтринной модели основывается на результатах численных расчетов, которые выполнили на суперкомпьютерах Дж. Сентрелла из Дрексельского университета и А. Мелотт из Чикагского университета (см. рисунок на с. 19). Полученные данные указывают на то, что «блинная» структура, возникающая в нейтринной Вселенной, имеет сравнительно простой вид: большие блины и волокна, лежащие на пересечениях блинов, должны чередоваться со сферическими пустотами. С точки зрения наблюдений пока еще рано судить, действительно ли наблюдаемая крупномасштабная структура имеет такое сравнительно простое и регулярное строение.

Независимо от того, что покажут будущие наблюдения перечисленных эффектов, нейтринная модель сталкивается с несколькими потенциально серьезными проблемами, которые обнаружили путем численных экспериментов С. Уайт из Аризонского университета и М. Дэвис из Калифорнийского университета в Беркли. Во-первых, из-за очень высоких скоростей нейтрино после их разъединения с веществом и очень небольшой массы (если она вообще не равна нулю) стадия свободного разлета продолжается довольно долго, пока нейтрино не охладятся в достаточной степени, чтобы возмущения плотности могли расти. В результате неоднородности плотности не росли до сравнительно поздней стадии, когда Вселенная стала уже большой и довольно старой, поэтому первые галактики не могли образовываться вплоть до недавнего времени — настолько недавнего, что их возраст был бы несовместим с принятым сейчас возрастом самых старых звезд в так называемых шаровых скоплениях, которые найдены во многих галактиках.

Уайт и Дэвис считают также, что, согласно нейтринной модели, в скоплениях оказывается гораздо больше вещества, чем наблюдается по крайней мере в окрестности нашей Галактики. Кроме того, вследствие малой массы и высоких скоростей нейтрино они не так-то легко захватываются в гало галактик или даже в небольшие скопления галактик, поэтому для объяснения аномалий в динамике галактик, которые истолковываются сейчас как влияние темного вещества, приходится «изобретать» еще один тип частиц или какой-либо дополнительный механизм.

СОВРЕМЕННЫЕ достижения теоретической физики могут помочь найти выход из создавшегося положения на пути разработки новой модели образования больших структур, которая будет сочетать черты и изотермической, и нейтринной моделей. В сравнительно новой концепции суперсимметрии (см. статью: Г. Хабер, Г. Кейн. Обладает ли природа суперсимметрией? («В мире науки», 1986, № 8) предсказывается существование новых частиц — фотино, гравитино и аксиона, которые должны были рождаться на очень ранней стадии эволюции Вселенной. Эти частицы должны быть существенно более массивными по сравнению с нейтрино, поэтому они не способны свободно разлетаться по Вселенной даже после разъединения с излучением. Они были бы более медленными, т. е. более холодными. Поэтому, согласно такой модели, возмущения плотности начинают расти гораздо раньше и в заметно меньших масштабах, чем в нейтринной Вселенной, галактики должны были образоваться первыми, а крупномасштабные структуры формировались из возмущений плотности, которые возникали на относительно более поздней стадии ранней Вселенной. Благодаря тому, что крупномасштабные структуры формируются из ранее возникших возмущений, медленный процесс гравитационного сгущения в данном случае не является единственной причиной образования сверхскоплений, как это было в изотермической модели. Модель, основанная на предположении о преобладающей роли медленных или холодных частиц, в которой галактики образуются прежде сверхскоплений, но в формировании тех и других главную роль играют первичные возмущения, называют моделью холодных частиц, или гибридной моделью «снизу — вверх».

Из нее следует три предположения, которые можно проверить по данным наблюдений. Во-первых, галактики должны быть старше сверхскоплений. Поэтому взаимосвязь между положением сверхскопления и ориентациями составляющих его галактик не должна быть такой сильной, как в рамках нейтринной модели. Во-вторых, из-за того, что в спектре возмущений плотности неоднородности малых масштабов преобладают по сравнению с крупномасштабными неоднородностями, огромные структуры типа волокна Персей — Пегас должны редко встречаться во Вселенной. И, в третьих, хотя пустоты по-прежнему должны быть относительно незаполненными, они все же должны содержать некоторое количе-

ство вещества, которое не было охвачено теми неоднородностями, из которых образовались сверхскопления.

Чтобы сравнить преимущества и недостатки обсуждаемых моделей — изотермической, нейтринной и модели холодных частиц, Батуски, Мелотт и я приступили к расчетам на суперкомпьютере, в которых моделируются распределения богатых скоплений. Предварительные данные о свойствах распределений скоплений для моделей по сравнению с реальным распределением скоплений Эйбелла пока привели к неутешительным результатам. Ни в одной из моделей невозможно воспроизвести наблюдаемое число волоконподобных сверхскоплений. В частности, в нейтринной модели появляется слишком много небольших плотных сверхскоплений и вообще очень много скоплений галактик, тогда как в модели холодных частиц и в изотермической модели появляются существенно менее развитые структуры, чем те, которые наблюдаются в распределении скоплений Эйбелла. В настоящее время мы начали более широкую программу численного моделирования, чтобы расширить и упрочить эти предварительные заключения.

ПРОВЕДЕННОЕ численное моделирование поставило перед нами интересную проблему. Может быть, после завершения расчетов выяснится, что ни одна из предложенных моделей не объясняет гигантских структур, открытых в последнее время?

Решение этой проблемы, мне кажется, связано с двумя возможностями. Во-первых, светящееся вещество в галактиках и сверхскоплениях в действительности может не очень хорошо воспроизводить структуру темного вещества. Распределение темного вещества, т. е. то, что мы моделируем в численных расчетах, может быть значительно более гладким, чем относительно более скученное распределение светящегося вещества, которое непосредственно наблюдается.

Альтернативным является предположение о том, что механизм возникновения возмущений плотности совершенно отличен от того, который мы рассматривали. Возможно, образование галактик и скоплений вызвано космическими струнами: длинными одномерными нарушениями структуры пространства-времени, которые создают особенно сильные гравитационные поля в области узлов. Не исключено также, что теория «суперструн» — новый вариант теории элементарных частиц, в которой частицы рассматриваются не как точки, не имеющие размеров, а скорее

как одномерные колеблющиеся струны, — будет иметь важные астрофизические приложения, которые в настоящее время еще полностью не исследованы. В частности, согласно теории суперструн, на стадии квантовой гравитации возможно образование «теневого материи». Теневое вещество взаимодействовало бы с обычным веществом только посредством гравитации.

Пока остаются нерешенные загадки и проблемы, бросающие вызов как теоретикам, так и наблюдателям. Мы живем в волнующее время быстрого развития космологии, физики высоких энергий и физики элементарных частиц; объединение этих дисциплин обещает дать ответы на вопросы о строении как самых малых, так и самых больших объектов во Вселенной.

Наука и общество

Моделирование президентских выборов

КАК ПОКАЗЫВАЮТ результаты исследования, проведенного сотрудником Мичиганского университета Г. Маркусом, взгляды политических партий относительно того, каким должен быть «образ» их кандидата на пост президента США, сильно меняются. В докладе, сделанном Маркусом на конференции по проблемам экономики и политики, состоявшейся в Калифорнийском технологическом институте, говорится, что при решении вопроса о том, за какую кандидатуру отдать свой голос, избиратели исходят прежде всего из своего собственного благосостояния и общего экономического положения в стране. Поэтому «дорогостоящие и изнурительные» предвыборные кампании, устраиваемые кандидатами в президенты, «в конечном итоге есть не что иное, как пустая болтовня с точки зрения их влияния на исход выборов».

Маркус, который связан с Центром по изучению политического положения при Институте социальных исследований, входящем в состав Мичиганского университета, проанализировал статистические данные о состоянии национальной экономики и сопоставил их с результатами выборных кампаний за период с 1956 по 1984 г. Он обнаружил, что мог бы заранее предсказать исход президентских выборов, имевших место в указанный период, только на основании эконометрических моделей, не принимая во внимание личные качества кандидатов, их политические разногласия и лозунги, под которыми проходили предвыборные кампании. Модели включают такие экономические показатели, как изменение реального дохода на душу населения и выраженное в процентах относительное число людей, которые считают, что их финан-

совое положение в данный момент лучше или хуже, чем было прежде.

По оценкам Маркуса, каждое увеличение реального дохода на 1% повышает количество голосов за избрание пребывающего на посту президента на второй срок на 2,2% (при прочих равных условиях). Маркус указывает, что начиная с 1952 г. снижение величины реального дохода в год избрания президента имело место только однажды, а именно в 1980 г., когда президент Картер потерпел поражение в соперничестве с Рейганом. По словам Маркуса, тщательный анализ той выборной кампании «не дает никаких свидетельств того, что победа Рейгана была обусловлена его политическими или идеологическими взглядами».

Маркус намерен применить свои эконометрические модели к следующим президентским выборам, которые состоятся в 1988 г., чтобы проверить, можно ли на основании этих моделей заранее предсказать исход предстоящей кампании. Хотя нынешний президент не будет участвовать в выборах, все равно можно утверждать, считает Маркус, что экономическая ситуация повлияет на положение кандидата от республиканской партии так же, как она повлияла бы на положение Рейгана, если бы он переизбирался на новый срок.

Потерянные нейтрино

ЭКСПЕРИМЕНТЫ, проводимые под землей в прериях Южной Дакоты, в которых используется резервуар, наполненный перхлорэтаном (жидкостью для чистки одежды), задали сложную задачу. Эта жидкость служит чувствительным элементом в детекторе солнечных нейтрино. Установка, расположенная в золотоносной шахте в Хоумстейке и начавшая работать в 1968 г., заре-

гистрировала только одну треть того количества этих практически безмассовых частиц, которое, согласно теоретическим предсказаниям, должно было бы приходить на Землю от Солнца.

Кажется невероятным, что нейтрино теряются на своем пути. Также маловероятна возможность того, что на Солнце образуется столь неожиданно малое число элементарных частиц, поскольку общепринятая теория позволяет успешно определять другие количественные характеристики Солнца, например соотношение между массой и составом звезды и светимостью и временем жизни. В 1985 г. году на Международной конференции в Финляндии два советских физика (С.П. Михеев и А.Ю. Смирнов) предложили объяснение этого расхождения. Ханс А. Бете, лауреат Нобелевской премии 1967 г. по физике за работы, в которых были рассмотрены основные процессы, являющиеся источником энергии звезд, так прокомментировал это предложение: «Я думаю, это первое объяснение, которое может оказаться правильным». Бете опубликовал в журнале «Physical Review Letters» несколько иной подход к расчетам, выполненным советскими учеными.

Наиболее вероятное решение проблемы основано на том факте, что существуют различные типы («ароматы») нейтрино: электронное, мюонное и тау-нейтрино. Электронные нейтрино рождаются в процессе термоядерных реакций, происходящих в недрах звезд. С.П. Михеев и А.Ю. Смирнов из Московского института ядерных исследований АН СССР предположили, что электронные нейтрино, излученные в центре Солнца, могли, взаимодействуя с веществом Солнца, превратиться в мюонные нейтрино во время прохождения через эту звезду. Доля нейтрино, которые подвергаются такому превращению, должна быть достаточно большой, благодаря высокой плотности (130 г/см^3) вещества в центре Солнца. (Для сравнения плотность воды составляет только 1 г/см^3 .)

В противоположность электронным нейтрино мюонные нейтрино не взаимодействуют нужным образом с атомами хлора, содержащимися в жидкости детектора в Хоумстейке. Планы создания детекторов, которые позволят решить загадку солнечных нейтрино, рассматриваются сейчас и в СССР, и в странах Западной Европы. В советском эксперименте будет использовано 60 т галлия, а в западноевропейском — 6500 т жидкого аргона.

Антиидиотипы и иммунитет

Антиидиотипические антитела распознают молекулярную индивидуальность других антител. Они модулируют иммунный ответ, что открывает путь для экспериментальных и терапевтических манипуляций иммунной системой

РОНАЛЬД С. КЕННЕДИ, ДЖОЗЕФ Л. МЕЛНИК,
ГОРДОН Р. ДРИСМАН

ИММУННАЯ система индивида способна продуцировать миллионы разных видов антител — сложных молекул, которые распознают и связывают чужеродные вещества, попадающие в организм, маркируя их тем самым для разрушения. Каждое антитело может в свою очередь являться мишенью для других антител, которые распознают его уникальные молекулярные характеристики. Путем реакций антитело — антитело иммунная система взаимодействует сама с собой. Сети таких реакций, по-видимому, модулируют нормальный иммунный ответ; нарушения этих взаимодействий, возможно, лежат в основе аутоиммунных заболеваний, в частности, ревматоидного артрита, системной красной волчанки и миастении гравис, при которых иммунная система атакует собственный организм.

Исследования, выполненные в нашей и других лабораториях, показали, что такие взаимодействия, известные под названием реакций идиотип — антиидиотип, могут быть использованы для манипулирования иммунной системой, например для лечения целого спектра заболеваний, от инфекционных и онкологических до аутоиммунных.

Реакции идиотип — антиидиотип являются следствием разнообразия и специфичности самих антител. Иммуноглобулины — класс белков, к которому относятся антитела, — образуются в белых клетках крови, называемых В-лимфоцитами. Популяция В-лимфоцитов организма состоит из многих миллионов различных клонов; каждый из них представлен одной или несколькими клетками, продуцирующими молекулы определенного антитела. Многообразие клонов означает, что почти любая крупная молекула может выступать в роли антигена и вызывать специфический иммунный ответ.

Обычно молекула антитела связывается с мембраной В-клетки и выступает в качестве рецептора на ее по-

верхности. Взаимодействие антитела с соответствующей антигенной детерминантой (так называют ту часть молекулы антигена, которая непосредственно связывается с антителом) вызывает размножение клона В-клетки, несущей это антитело, так что образуется большая популяция одинаковых плазматических клеток. Плазматические клетки секретируют свободные молекулы антител, которые все специфичны к одной и той же антигенной детерминанте. Эти молекулы связываются с молекулами антигена, и начинается сложный процесс, ведущий к уничтожению или нейтрализации антигена. В большинстве антигенов имеется несколько антигенных детерминант, и поэтому один антиген стимулирует секрецию нескольких различных антител.

Специфичность того или иного антитела обусловлена аминокислотной последовательностью концевой части полипептидных цепей, образующих молекулу антитела. Молекула всякого антитела состоит из четырех полипептидных цепей — двух одинаковых длинных, называемых тяжелыми, и двух одинаковых более коротких, называемых легкими. Эти четыре цепи образуют симметричную «двулучевую» молекулу. В каждой цепи большая часть приходится на константную область, которая похожа у всех цепей в пределах широкого класса; существует пять больших классов тяжелых цепей и два легких. Каждая цепь содержит также переменную область, которая имеет уникальные химическую структуру и конформацию, характерные для данного клона В-клеток. На конце каждого из «плеч» молекулы переменные области тяжелой и легкой цепей образуют связывающий центр, которым антитело взаимодействует со специфической антигенной детерминантой.

В 1950-х гг. было показано, что молекулы иммуноглобулинов сами несут антигенные детерминанты. Экспериментальным животным вво-

дили миеломные белки, которые представляют собой иммуноглобулины, спонтанно продуцируемые в больших количествах В-клеточными опухолями. В ответ на инъекцию у них вырабатывались антитела, которые реагировали с миеломными белками.

В 1963 г. Г. Канкель и его коллеги из Рокфеллеровского института медицинских исследований и независимо Ж. Уден из Пастеровского института в Париже обнаружили аналогичное явление для антител, продуцируемых В-клетками нормально, т. е. в ответ на антиген. Экспериментальное животное подвергли воздействию антигена, что привело к выработке антител. Эти первые антитела (Ат-1) были выделены из сыворотки животного и введены другому животному, где они вызвали образование вторых антител (Ат-2). Ат-2 связывали только Ат-1 и не взаимодействовали ни с какими другими антителами. Поэтому можно сказать, что они распознают индивидуальность первого антитела. Уден назвал уникальные антигенные детерминанты Ат-1 идиотипом (от греческих корней, означающих «своеобразный» и «форма»), а для Ат-2, продуцируемого в ответ на идиотип, предложил термин «антиидиотип».

В другом исследовании было показано, что в ответ на Ат-1 иммунная система может продуцировать различные виды антител. Некоторые из них связывают не только индуцировавшие их Ат-1, но также и иные антитела с тяжелыми либо легкими цепями того же класса, что и в Ат-1. Вероятно, эти вторые антитела, называемые антиидиотипами, распознают антигенные детерминанты, находящиеся в константной области тяжелой либо легкой цепи. Антитела еще одного вида, антиаллотипы, реагируют с любым антителом того индивида, из которого были выделены Ат-1, но не всегда реагируют с антителами других индивидов. Аллотипы, на которые отвечают такие антитела, аналогичны эритроцитарным антигенам

групп крови: все антитела данного индивида имеют общий аллотип, однако у разных особей аллотип варьирует. Детерминанты, образующие аллотип, тоже расположены в основном в константных областях.

В отличие от антиаллотипов и антиизотипов антиидиотип был определен как антитело, способное реагировать только с Ат-1, индуцированным конкретным антигеном. Следовательно, идиотип должен располагаться в вариабельной области молекулы Ат-1. Исследования, выполненные в конце 1960-х — начале 1970-х годов А. Нисоноффом (в настоящее время работает в Университете Брандейса), К. Эйхманом (Институт иммунологии им. Макса Планка во Фрайбурге) и рядом других ученых, дали более ясное представление об идиотипах и антиидиотипах.

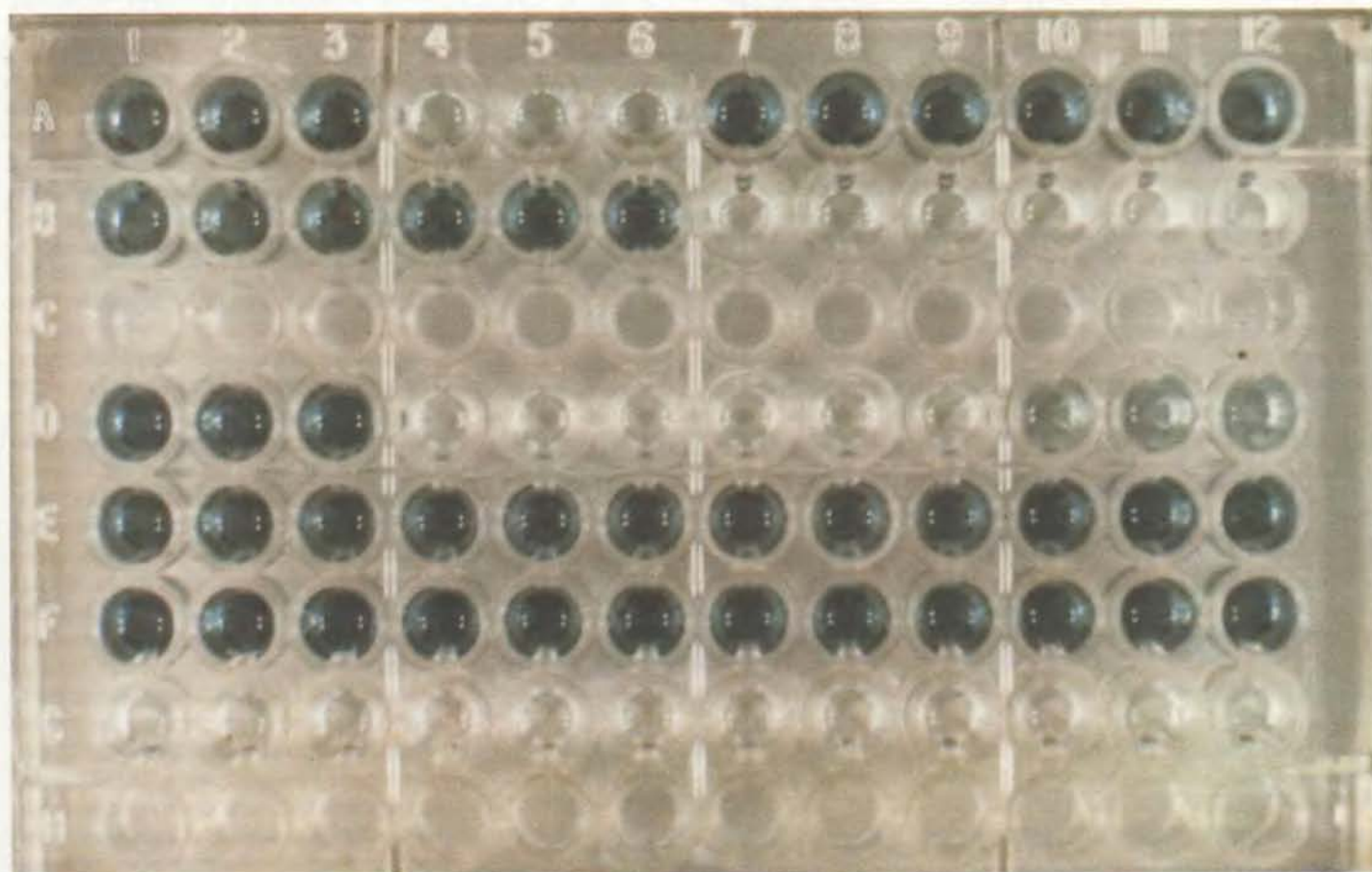
В некоторых опытах для индукции Ат-1, к которому затем получали Ат-2 (антиидиотип), в качестве антигена использовалось простое органическое

соединение или же бактериальный сахарид. Оказалось, что инкубация Ат-1 с антигеном часто предотвращает взаимодействие антиидиотипа с идиотипом. Вероятно, антиген блокирует связывание антиидиотипа, так как занимает связывающий участок Ат-1. Следовательно, идиотип должен находиться либо в антигенсвязывающем центре, либо вблизи него.

В других экспериментах выяснилось, что ассоциация идиотипа и антигенсвязывающего участка, по-видимому, отражает сходство между антиидиотипом и антигеном. Когда в роли антигена выступает гормон, например инсулин, получаемые антиидиотипы могут конкурировать с самим гормоном за связывание с его рецептором на клеточной поверхности; это означает, что Ат-2 похоже на антиген. Поскольку Ат-2 образуется в иммунной системе, а имитирует молекулу из совершенно иного источника, говорят, что Ат-2 несет «внутренний образ» антигена. Было, однако,

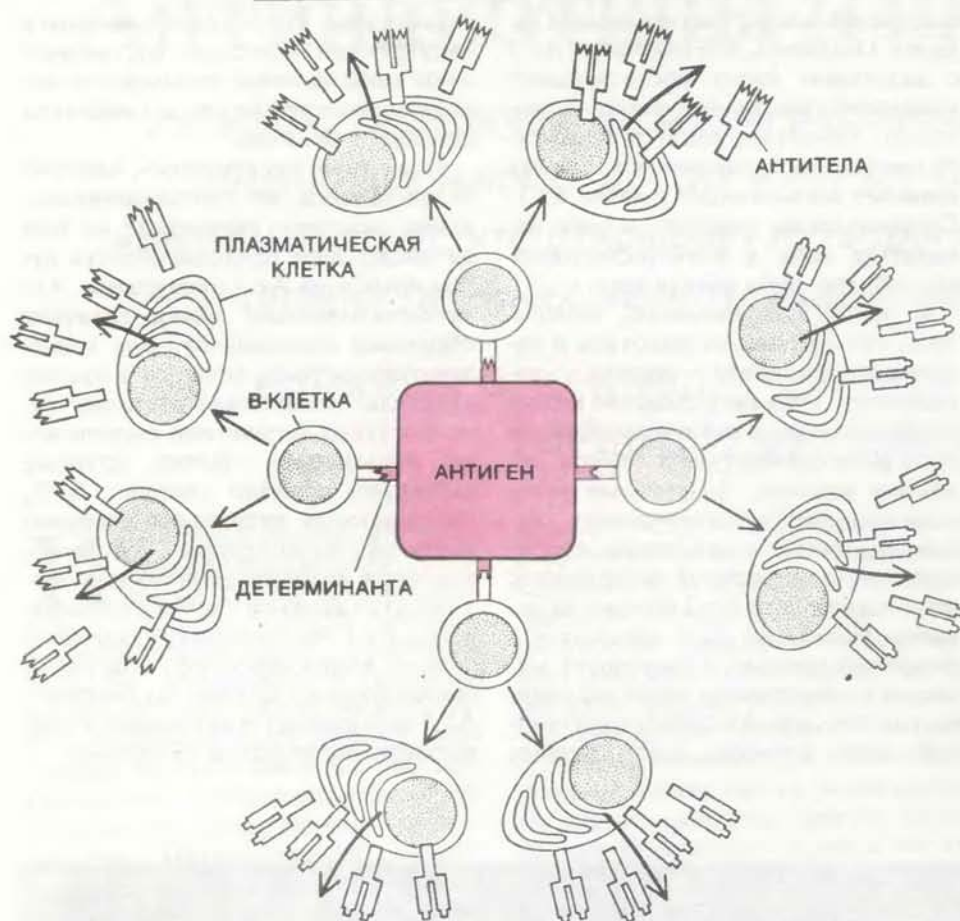
установлено, что эти антиидиотипы с «внутренним образом» составляют лишь меньшинство; большинство антиидиотипов не имитируют эффектов исходного антигена.

Более того, как оказалось, идиотип не всегда совпадает с антигенсвязывающим центром: связывание не всех антиидиотипов предотвращается путем инкубации Ат-1 с антигеном. Антигенсвязывающий центр антитела образован аминокислотными последовательностями, которые в разных антителах значительно различаются; между этими сегментами расположены «рамочные» участки, которые варьируют гораздо меньше. Ат-2, распознающие антигенные детерминанты на участке «рамки», все еще называются антиидиотипическими, потому что связывают только специфические Ат-1. Но, поскольку такие антитела не взаимодействуют с антигенсвязывающим участком, их реакция с Ат-1 не подавляется антигеном. Такой антиидиотип не похож на антиген.

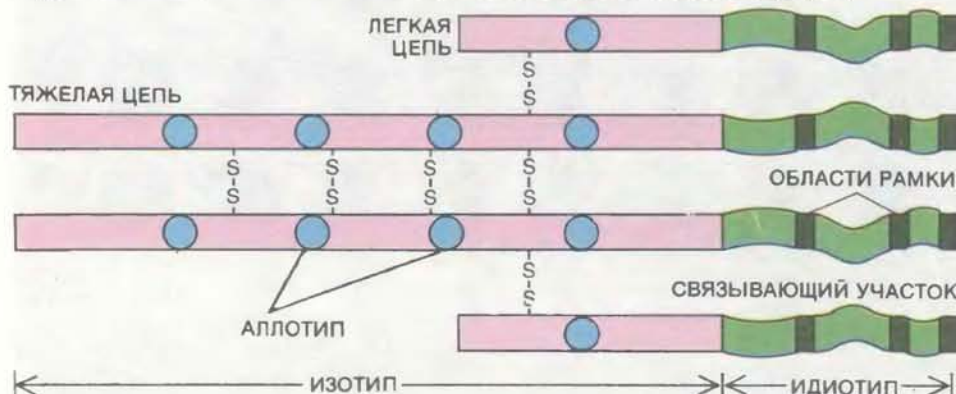


СВЯЗЫВАНИЕ АНТИИДИОТИПА с антителом-мишенью регистрируется при помощи метода иммуноферментного анализа ELISA. Здесь представлен конечный этап анализа антиидиотипа для вируса гепатита В. Сначала в пластиковые ячейки помещали образцы антител мыши или человека. Добавляли сыворотку кролика, содержащую антиидиотипы, полученные против антител человека к антигену гепатита В, инкубировали и отмывали. Затем вводили

антитела козы против иммуноглобулинов кролика, соединенные с ферментом пероксидазой хрена. Наконец ячейки заполняли бесцветным раствором, который в присутствии пероксидазы хрена становится зеленым. Окрашивание выявляет связанные антитела козы, которые в свою очередь указывают на присутствие связанного антиидиотипа. Значит, образцы в окрасившихся ячейках содержали мишень антиидиотипа, т. е. антитела к антигену гепатита В.



АНТИТЕЛЬНЫЙ ОТВЕТ на антиген начинается, когда В-лимфоциты распознают определенные структуры на поверхности чужеродной молекулы — так называемые антигенные детерминанты. Узнавание осуществляется рецепторами, расположенными на клеточной мембране В-лимфоцитов. Исходно в организме имеется множество различных В-клеточных клонов, представленных одной или несколькими идентичными клетками. В каждом клоне рецепторы специфичны к какой-то одной антигенной детерминанте. Когда они связываются с ней, клон размножается и превращается в популяцию плазматических клеток, которые секретируют свободные молекулы антител. В молекуле антитела имеются два связывающих центра, которые обладают той же специфичностью, что и рецепторы родительского клона. Ими антитела связывают молекулы антигена, что ведет к их разрушению или нейтрализации. В антигене обычно много детерминант, и в ответе на него участвуют много клонов В-клеток.



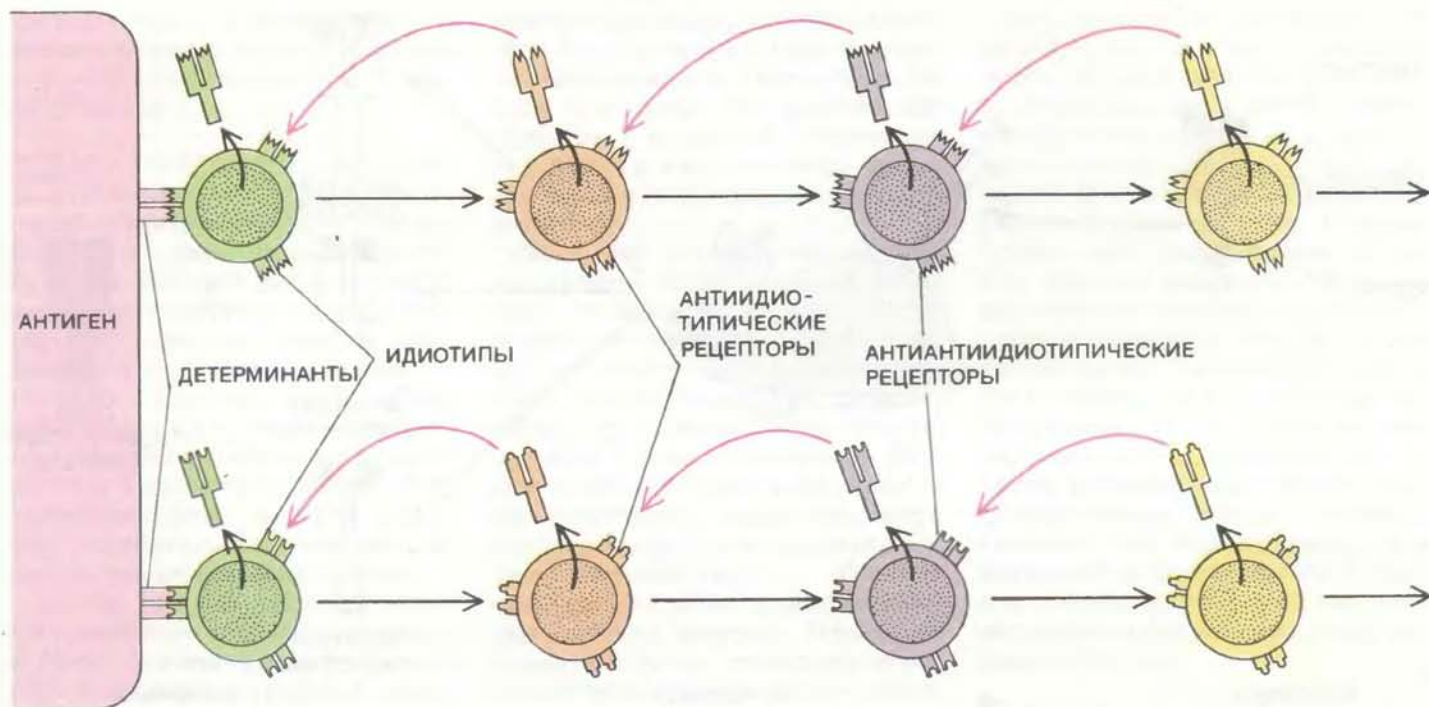
МОЛЕКУЛА АНТИТЕЛА состоит из двух длинных («тяжелых») полипептидных цепей и двух более коротких («легких»), соединенных дисульфидными связями (S—S). Каждая цепь подразделяется на константную область (розовая) и вариабельную (зеленая). Константные области сходны у всех антител, принадлежащих одному и тому же широкому классу. Но вариабельные области в каждом клоне В-клеток свои; причем участки, образующие центр связывания, варьируют более всего, а промежуточные области «рамки» различаются меньше. Все области антитела содержат антигенные детерминанты, которые могут вызывать образование других антител. Константные области несут детерминанты, одинаковые у антител одного класса; они составляют изотип. Детерминанты, идентичные во всех антителах данного организма, но различающиеся у разных индивидов, также располагаются в константных областях. Они составляют аллотип. Детерминанты вариабельных областей — это идиотип.

В ИССЛЕДОВАНИЯХ, приведших к созданию концепции идиотипа и антиидиотипа, экспериментальными животными иммунизировали антителами, образовавшимися в других экспериментальных животных. Происходят ли подобные взаимодействия в природе, в пределах одной иммунной системы? В начале 1970-х годов Н. Ерне из Базельского института иммунологии выдвинул гипотезу о том, что такая сеть идиотипов и антиидиотипов регулирует иммунный ответ индивида.

Ерне предположил, что идиотипы расположены на антителах и на поверхностных рецепторах В- и Т-лимфоцитов. (Т-клетки убивают чужеродные клетки непосредственно, а также играют регуляторную роль. См.: Ф. Маррак, Дж. Каплер. Т-клетка и ее рецептор, «В мире науки», 1986, № 4.) Когда в ходе ответной реакции организма на антиген В- и Т-клетки пролиферируют и уровень антител возрастает, возрастает и концентрация идиотипов. Организм в норме не дает иммунного ответа против молекул собственного производства — он, как говорят, толерантен к ним. Согласно Ерне, обычно индивидуальные идиотипы присутствуют в концентрациях, слишком низких для того, чтобы против них выработалась толерантность. Следовательно, возрастание концентраций идиотипов стимулирует пролиферацию лимфоцитов, несущих антиидиотипические рецепторы.

В-клетки этой второй популяции лимфоцитов секретируют антиидиотипические антитела, которые регулируют первоначальный иммунный ответ. По мнению Ерне, они могут осуществлять это либо непосредственно, например, связываясь с антителами, несущими идиотип, и инактивируя их, либо опосредованно, связываясь с идиотипами на поверхности регуляторных Т-клеток. Влияние антиидиотипов на иммунный ответ может быть либо усиливающим, либо подавляющим.

В гипотезе Ерне взаимодействия, инициированные антигеном, не заканчиваются на антиидиотипе (Ат-2), поскольку антиидиотипы сами несут идиотипы. Вследствие громадного разнообразия антител каждая детерминанта идиотипа распознается связывающим участком какого-нибудь другого антитела. Поэтому антиидиотипические антитела вызывают синтез антиантиидиотипических антител (Ат-3), которые стимулируют образование антиантиантиидиотипических антител (Ат-4), и т. д. Таким образом, исходный антиген запускает далеко идущее возмущение сложной сети иммунных процессов (см. N. K. Jerne.



ИДИОТИПИЧЕСКАЯ СЕТЬ регулирует иммунный ответ на антиген. Эта гипотеза, предложенная Н. Эрне, недавно получила подтверждение экспериментальными данными. Антиген стимулирует пролиферацию специфических лимфоцитов, которые распознают детерминанты на его поверхности. Рецепторы, имеющиеся на поверхности этих клеток, и антигенсвязывающие центры антител, секретируемых ими, содержат идиотипы, которые вызывают пролиферацию второй популяции лимфоцитов — несущих антиидиотипические рецепторы, взаимодействующие с идиотипами. Эти клетки тоже несут идиотип, который стиму-

лирует размножение третьей популяции лимфоцитов. Эрне предполагал, что возмущение, однажды возникнув, распространяется по идиотипической сети, поскольку такие взаимодействия повторяются неограниченно; однако в настоящее время считается, что их конечное число. Взаимодействия происходят и в обратном направлении: клетки каждой популяции секретируют антиидиотипические антитела, которые связываются с идиотипами предыдущей популяции клеток и антител (цветные стрелки). Эти реакции могут усилить или ослабить иммунный ответ.

The Immune System, "Scientific American", July, 1973).

Первое экспериментальное подтверждение того, что идиотипическая сеть может действовать внутри индивидуальной иммунной системы, было получено в 1974 г. Л. Родки (в настоящее время работает в Научно-исследовательском медицинском центре Техасского университета в Хьюстоне). Кроликам ввели антиген и выделили образовавшиеся у них антитела (Ат-1). Дали иммунной системе животных «передохнуть» 14 месяцев и затем ввели Ат-1 тем же кроликам, из которых они были получены. С помощью метода радиоиммунологического анализа сыворотку этих животных проверили на присутствие Ат-2. Процедура анализа заключалась в следующем. Ат-1 поместили радиоактивным иодом и обработали ферментом, который удалил из молекул эффекторный сегмент полипептидных цепей, составляющие существенную часть их константных областей, но не затронул переменные области, несущие идиотип. Такие Ат-1 смешали с сывороткой и смесь обработали иммуноглобулинами козы, способными связываться с эффекторной областью любых антител кролика, вызывая их осаждение. Поскольку

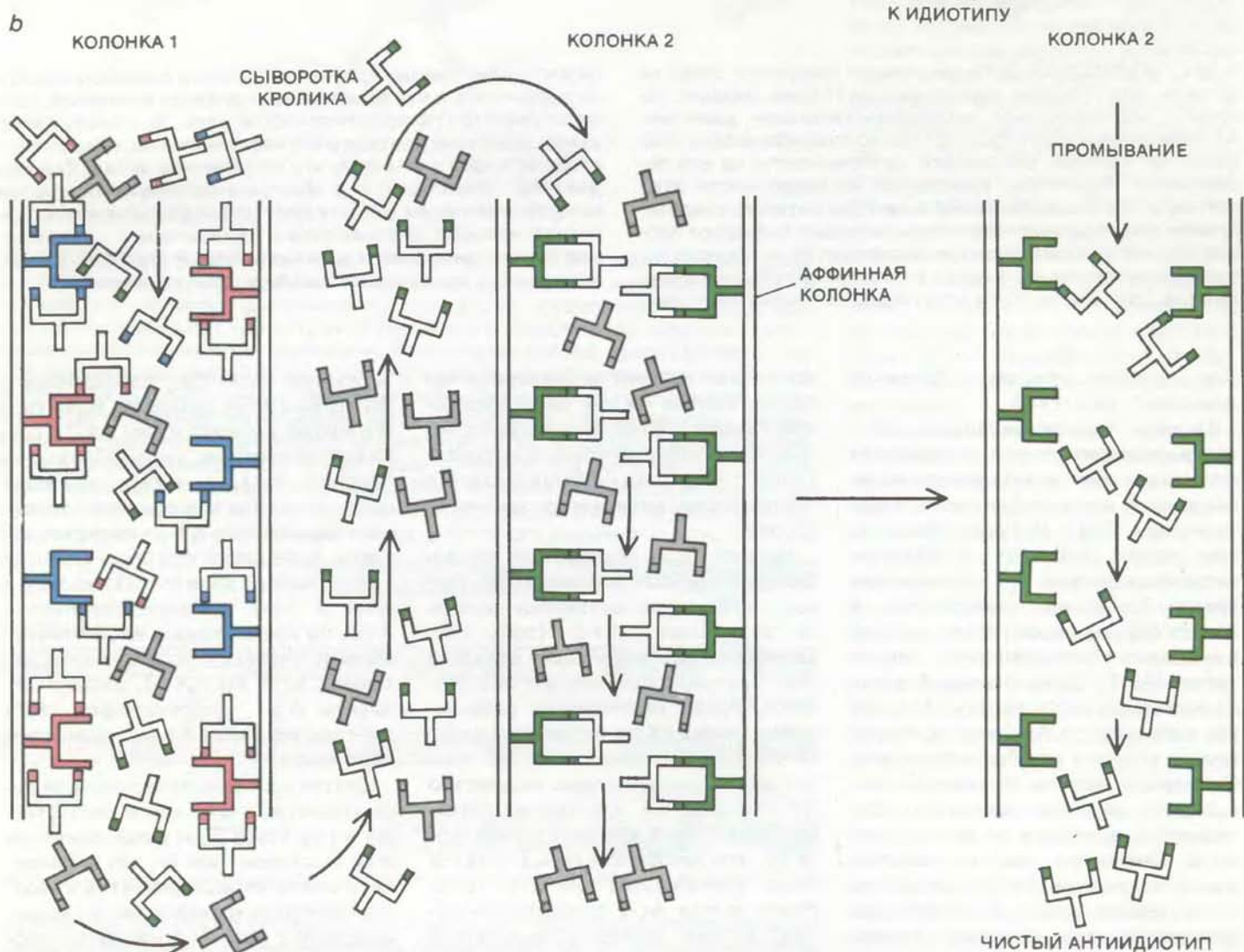
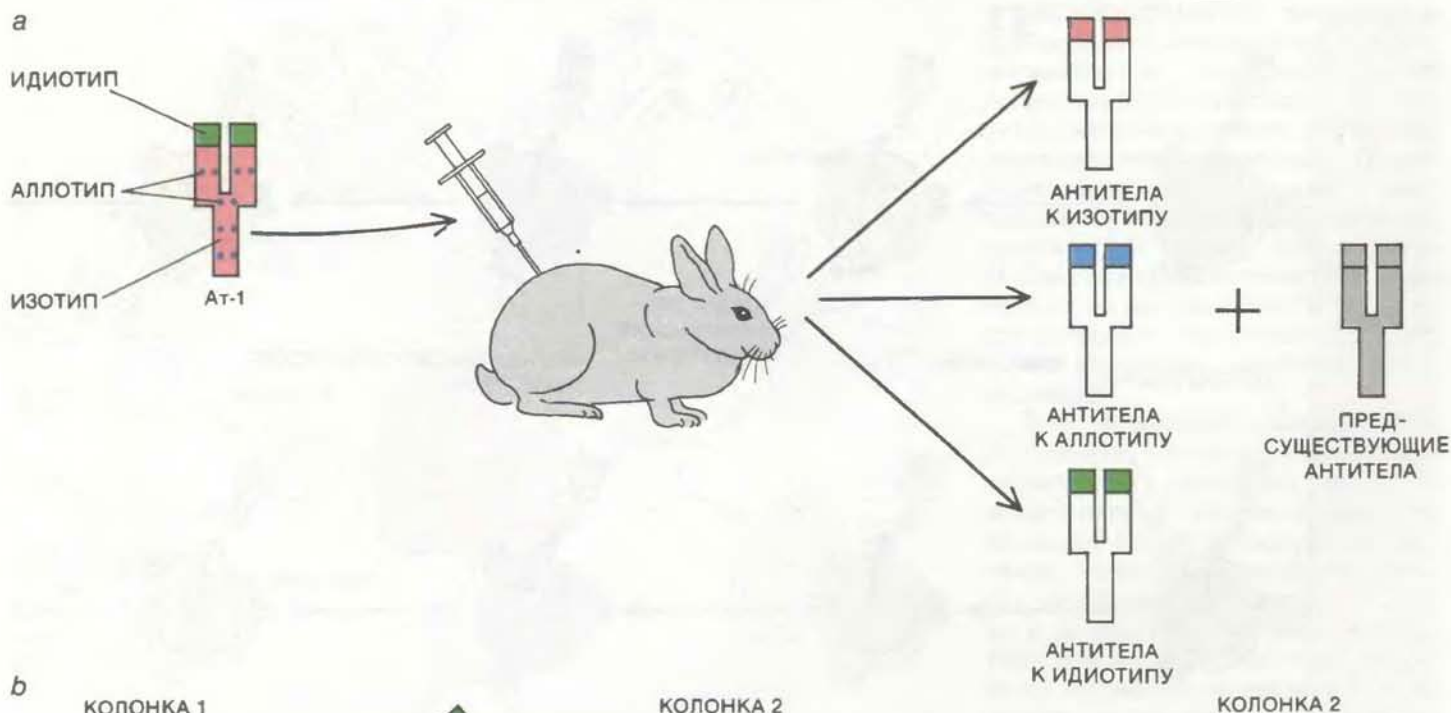
Ат-1 были лишены эффекторной области, они не могли сами взаимодействовать с козьими иммуноглобулинами. Чтобы произошла преципитация, с Ат-1 должны были связаться неизмененные антитела из сыворотки кролика.

Наблюдалось образование радиоактивного осадка; это свидетельствовало, что вторые интактные антитела связывались с Ат-1. Чтобы подтвердить, что интактные антитела действительно являлись антиидиотипами, Родки инкубировал радиоактивно меченные Ат-1 с исходным антигеном и повторил опыт. На этот раз значительно меньшее количество Ат-1 осаждалось иммуноглобулинами козы. Такой результат указывал на то, что мишенью вторых антител была переменная область Ат-1. Родки назвал Ат-2 аутоантиидиотипом. Позже другие исследователи продемонстрировали, что аутоантиидиотипы секретируются в ходе нормального иммунного ответа.

К. Бона из Медицинской школы Маунт-Синай провел более широкое исследование идиотипической сети у мышей. В качестве Ат-1 было взято моноклональное антитело (антитело, продуцируемое в культуре одним определенным клоном клеток, синте-

зирующих антитела), специфичное к бактериальному сахариду. Бона ввел его мышам, выделил из нее Ат-2 и снова ввел животным. Таким образом он получил Ат-3, а затем, повторив цикл, Ат-4. Как и исследователи, обнаружившие, что Ат-2 имитирует антиген, Бона нашел признаки сходства в этом наборе антител. Поскольку и Ат-4 и Ат-2 взаимодействовали с Ат-3, он предположил, что их связывающие участки похожи, а следовательно, Ат-4, как и Ат-2, должно связывать Ат-1. Действительно, 60% Ат-4 реагировали с Ат-1 — исходным идиотипом.

Другие исследователи получили доказательства того, что в соответствии с гипотезой Эрне идиотипическая сеть охватывает как В-, так и Т-клетки. В одном из экспериментов животное подвергли воздействию антигена, выделили у него Т-лимфоциты, пролиферирующие в ответ на антиген, и ввели их другому животному. Из сыворотки второго животного выделили антитела к идиотипу рецептора Т-клеток и ввели их первому. Результатом действия этих антител оказалось подавление иммунного ответа. Вероятно, антиидиотипы связывались с рецепторами на поверхности супрессорных Т-клеток



ПОЛУЧЕНИЕ АНТИИДИОТИПА к антителам человека против вируса гепатита В. Кролику вводят очищенные антитела человека (Ат-1) (а). Сыворотка этого кролика содержит антитела, существовавшие до инъекции, антитела к изотипу и к аллотипу человеческих антител и антиидиотип. Нежелательные антитела удаляются на аффинных колонках. Первая колонка содержала иммобилизованные антитела человека, имеющие тот же изотип и аллотип (красные и синие), что и Ат-1, но другой идиотип, а вторая колонка —

Ат-1, т.е. исходный идиотип (зеленый). Сыворотку пропускали через колонку 1: в ней оставались антиизотипы и антиаллотипы, но свободно проходили антиидиотипы и антитела, существовавшие до иммунизации. Полученный элюат пропускали через колонку 2: здесь связывался антиидиотип и смывались только посторонние антитела. Эту колонку промывали веществом, освобождавшим связанные антитела, и таким образом выделялся чистый антиидиотип.

(регуляторных Т-лимфоцитов, в функции которых входит подавление иммунного ответа) и поэтому вызвали супрессию.

НАША ГРУППА исследовала идиотипические сети, возникающие у людей, зараженных вирусом гепатита В (HBV; от англ. hepatitis-B virus). Стимулы для этой работы имелись как практические, так и научные: HBV вызывает серьезное первичное заболевание, а хроническая инфекция часто ведет к развитию других заболеваний печени и к первичному раку печени. Мы рассчитывали, что понимание сети иммунных взаимодействий, спровоцированных вирусом, поможет разработать иммунологические методы предотвращения болезни.

Клетки печени, инфицированные HBV, выделяют в большом количестве белок оболочки вируса. В оболочке HBV содержится антигенный компонент, известный под названием HBsAg (от англ. hepatitis-B surface antigen, что значит поверхностный антиген гепатита В). HBsAg включает три различных антигена, обозначаемые буквами. Антигена *a* имеется у всех штаммов HBV. Два других антигена варьируют от штамма к штамму закономерным образом: присутствует антиген *d* или же у в сочетании с антигеном *w* либо *r*. Антитело к антигену *a* обеспечивает защиту против повторной инфекции HBV любого штамма (см. J. Melnick, G. Dreesman, F. Hollinger. *Viral Hepatitis*, "Scientific American", July, 1977). Мы задались вопросом: имеются ли у человека среди антител, продуцируемых в ответ на HBsAg, различные идиотипы, соответствующие участкам связывания различных антигенов. В случае положительного ответа наша задача «распутать» сеть реакций идиотип — антиидиотип, инициируемых инфекцией, значительно осложнилась бы и шансов найти способ манипулировать ими было бы мало.

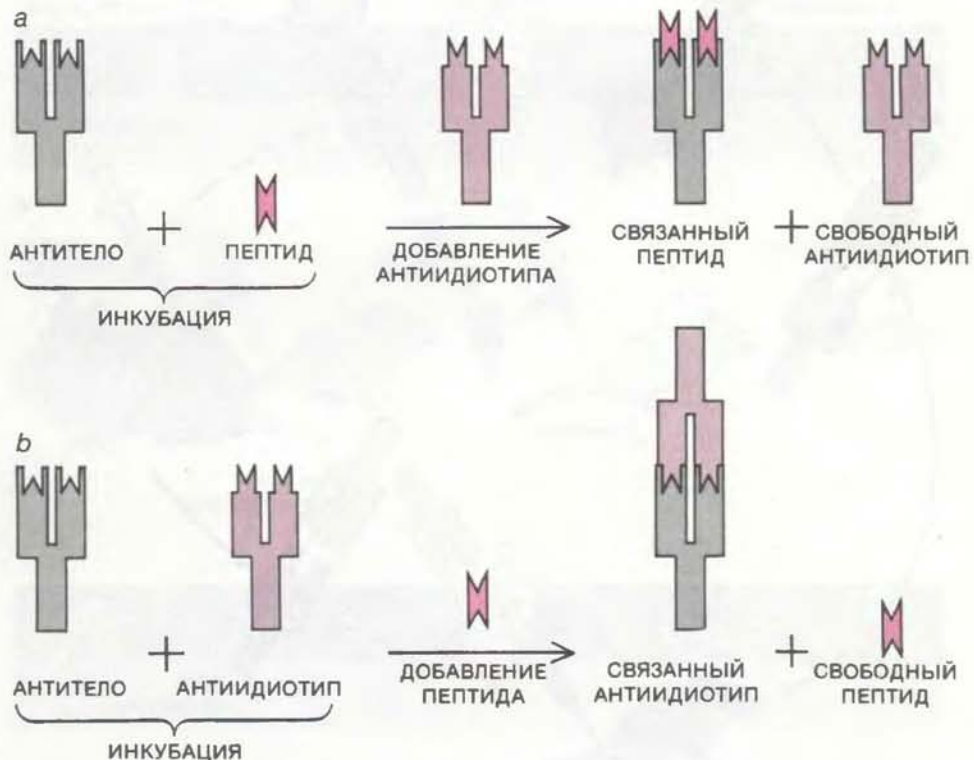
К счастью, нам удалось показать, что все молекулы антител, образующиеся у человека под действием HBsAg в процессе инфекции или после вакцинации, представляют один и тот же идиотип. Эксперимент состоял в следующем. Антитела, полученные от одного зараженного человека, вводили кроликам, и из их сыворотки выделяли антиидиотип. Антитела нескольких разных людей в равной степени взаимодействовали с антиидиотипом и, следовательно, несли один и тот же идиотип. Выяснилось, что этот идиотип индуцируется антигеном *a*. Мы проверили у нескольких штаммов вируса по отдельности способность HBsAg блокировать реак-

цию антиидиотипа с антителом человека. Все штаммы оказались одинаково эффективными; такой результат свидетельствовал, что идиотип связывается с антигенной детерминантой, общей для всех штаммов. Эта детерминанта должна располагаться на антигене *a*.

Несет ли антиидиотип кролика «внутренний образ» антигена *a*? Тот факт, что HBsAg предотвращает связывание антиидиотипа с Ат-1 человека, заставляет предположить, что это действительно так. Однако HBsAg представляет собой крупную молекулу и может блокировать реакцию между антителом и антиидиотипом стерически — просто благодаря своему размеру, даже если антиидиотип взаимодействует с областью «рамки» Ат-1, а не с самим антигенсвязывающим центром. Чтобы исключить это, мы проверили значительно меньшую молекулу — синтетический пептид (т.е. короткую цепочку аминокислот), имитирующий одну из детерминант антигена *a*. Обнаружилось, что и он препятствует связыванию антиидиотипа с Ат-1.

Другие данные подтверждают, что антиидиотип кролика имитирует форму антигена гепатита В. Антитела, узнающие один и тот же антиген, но полученные от разных животных, могут различаться биохимически, даже если форма антигенсвязывающего участка у них одинакова. Следовательно, если определяющим фактором является химическая структура варибельной области, а не форма антигенсвязывающего участка, антиидиотип может взаимодействовать с Ат-1 только одного вида. Однако мы обнаружили, что антитела кролика связывали Ат-1, образовавшиеся у мыши, шимпанзе и пяти других видов млекопитающих помимо человека. Очевидно, для антиидиотипа, как и для самого антигена гепатита В, реакция со связывающим участком Ат-1 определяется формой взаимодействующих структур.

МОГУТ ЛИ антиидиотипические Антитела кролика вызвать иммунную защиту от гепатита В, какую создает обычная вакцина, состоящая из HBsAg? Идею о том, что идиотип,



ЭКВИВАЛЕНТНОСТЬ поверхностного антигена гепатита В (HBsAg) и антиидиотипа, возникшего у кролика после инъекции ему антител человека к вирусу гепатита В, была доказана авторами статьи с помощью синтетического пептида, имитирующего антигенную детерминанту HBsAg. Если такие же антитела человека, какие были использованы для получения антиидиотипа у кролика, прединкубировать с пептидом, то антиидиотип не взаимодействует с ними (а); это указывает на то, что идиотип расположен в антигенсвязывающем участке антитела. И наоборот, инкубация с антиидиотипом предотвращает последующее взаимодействие антител человека с пептидом (b). Следовательно, антиидиотип и антиген взаимодействуют с одним и тем же участком антитела человека к вирусу гепатита, и можно предположить, что связывающий центр антитела структурно подобен антигену: антиидиотип несет «внутренний образ» антигена.

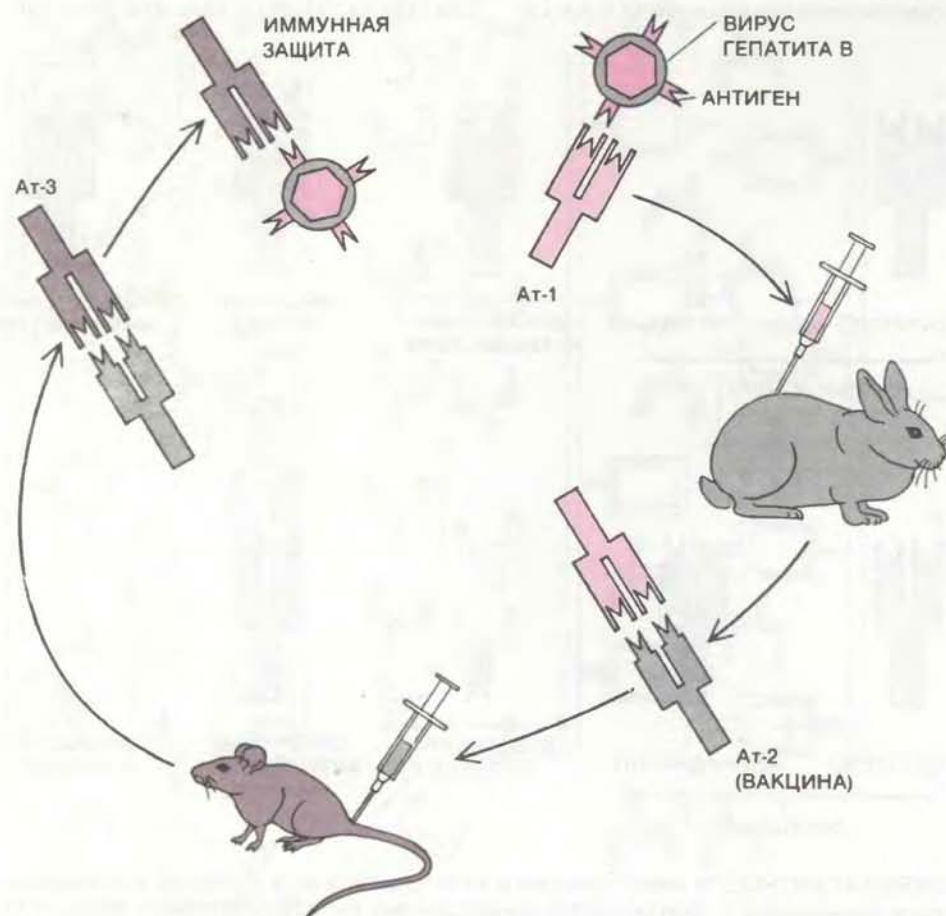
несущий «внутренний образ», может быть использован в качестве вакцины против инфицирующего агента, выдвинули Нисонофф и Э. Ламой (работавший в настоящее время в Национальном институте аллергических и инфекционных заболеваний) и независимо от них И. Ройт и его коллеги из Медицинской школы Мидлсексской больницы в Лондоне. Данные, казалось бы, подтверждавшие эту гипотезу, были получены Дж. Блюстоуном и Д.Г. Заксом из Национального института рака, которые изучали отторжение кожных трансплантатов. При отторжении чужеродной ткани иммунная система отвечает на специфические трансплантационные антигены, которые представляют собой белки, экспонированные на мембранах чужеродных клеток. Блюстоун и Закс выделили антитела к трансплантационным антигенам из сывороток мышей с кожными трансплантатами и затем получили антиидиотипы в животных другого вида.

Когда мышам, не подвергавшимся ранее пересадке чужой ткани, вводили антиидиотип, у них появлялись антитела, которые могли связываться с трансплантационными антигенами. Очевидно, препарат антиидиотипа содержал «внутренний образ» трансплантационных антигенов. Ат-2 с «внутренним образом», должно быть, стимулировало иммунную систему к продуцированию Ат-3 со специфичностью, сходной со специфичностью Ат-1.

Вопрос о возможности создания антиидиотипических вакцин освещается также в работе Д.Л. Закса из Национального института аллергических и инфекционных заболеваний. Он вводил мышам моноклональное Ат-1, которое распознавало поверхностный антиген трипаномы — простейшего, вызывающего у человека сонную болезнь. Антиидиотип, полученный от этих животных, ввели другим мышам и они стали защищенными от таких доз трипаномы, которые

обычно летальны. Но последующие эксперименты показали, что антиидиотип создает защиту только в случае, если его вводят животным, близкородственным тем, из которых было получено моноклональное Ат-1.

Такое генетическое ограничение заставило предположить, что данный антиидиотип не несет «внутренний образ» антигена; в противном случае он стимулировал бы выработку протективных антител у любых мышей. Вероятно, идиотип, вызвавший образование Ат-2, ассоциирован с участками вариабельной области антитела, которые у генетически разных мышей различны даже при ответе на один и тот же антиген. Поэтому антиидиотип может индуцировать протективные Ат-3, идентичные по антигенной специфичности с моноклональным Ат-1, только у особей той же инбредной линии, что и мыши, от которых было получено Ат-1. (Недавно Закс и его коллеги получили антиидиотип, который действительно является «внутренним образом» антигена трипаномы и не подвержен генетическому ограничению.)



АНТИИДИОТИПИЧЕСКАЯ ВАКЦИНА несет «внутренний образ» антигена. Антитела человека к антигену вируса гепатита В (Ат-1) вводят кроликам и у них в ответ образуется антиидиотип (Ат-2). Антиидиотип инъецируют мышам или шимпанзе, у которых в результате синтезируются антитела к антиидиотипу (Ат-3). Антиген вируса гепатита и антиидиотип сходны по форме, и соответственно Ат-3 структурно подобны Ат-1, хотя и отличаются от них биохимически. Благодаря этому подобии Ат-3 способны взаимодействовать с вирусным антигеном и потому могут защищать организм от инфекции. В таком эксперименте удалось создать иммунную защиту от гепатита В у шимпанзе.

ЧТОБЫ ВЫЯСНИТЬ, могут ли полученные нами антиидиотипические антитела использоваться в качестве вакцины против гепатита В, мы прежде всего изучили, как влияет предварительное присутствие в организме антиидиотипа на последующий иммунный ответ на HBsAg. Мы ввели одной группе мышей антиидиотипические антитела кролика, а другой, для контроля, препарат неспецифических кроличьих иммуноглобулинов. Затем животных подвергли воздействию HBsAg и проанализировали их антителы с помощью метода гемолитического бляшкообразования. В-клетки из селезенки мыши помещали в слой эритроцитов барана, покрытых предварительно HBsAg, и добавляли комплемент (комплемент — система белков крови, разрушающая клетки, к которым присоединились антитела). После этого появлялись прозрачные зоны («бляшки») в тех местах, где произошло разрушение эритроцитов вокруг В-клеток, продуцирующих антитела.

К нашему приятному удивлению, количество бляшек было значительно больше вокруг селезеночных клеток мышей, которым ввели антиидиотип, по сравнению с контрольными животными. По-видимому, предварительное присутствие в организме антиидиотипа усиливает последующий иммунный ответ. Мы, кроме того, обнаружили, что клетки мышей, которые получили антиидиотип, секретируют антитела, даже если им не

вводить HBsAg. В другом аналогичном эксперименте анализировалась сыворотка крови, а не клетки селезенки, и также было показано, что антиидиотип способен вызывать образование антител, взаимодействующих с вирусным антигеном.

Эквивалентны ли Ат-3, индуцированные антиидиотипом (Ат-2), антителам, образующимся в организме при естественной инфекции HBV? Эти антитела распознают антиген *a*, общий для всех штаммов вируса. Чтобы выяснить, взаимодействуют ли антитела, индуцированные антиидиотипом, с антигеном *a*, мы выделили Ат-3 (для этого сыворотку соответствующим образом обработанных животных пропускали через колонку с HBsAg и затем экстрагировали связавшиеся с HBsAg антитела) и проверили, подавляет ли HBsAg из различных штаммов вируса взаимодействие этих Ат-3 с Ат-2. Во всех случаях наблюдалось подавление связывания; следовательно, связывающий центр Ат-3 мыши, как и Ат-1 человека, распознает антиген *a*. Мы сравнили также Ат-3 мыши и Ат-1 человека непосредственно, определив степень конкуренции между ними за связывание с Ат-2 кролика. Антитела человека, являющиеся протективными против HBV, и полученные в нашем эксперименте Ат-3 мыши связывались с антиидиотипом со сравнимой реактивностью.

Эти данные позволили предположить, что индуцированные антиидиотипом Ат-3 могут создавать иммунную защиту от гепатита В. Чтобы проверить, могут ли антиидиотипические антитела кролика служить в качестве вакцины против гепатита для человека, была необходима, однако, соответствующая модель на животных. У мышей HBV не вызывает заболевания, хотя у них и возникает антителный ответ после введения HBsAg. Подходящей моделью для испытания вакцины против вируса оказались шимпанзе: у них под действием HBV развивается гепатит В.

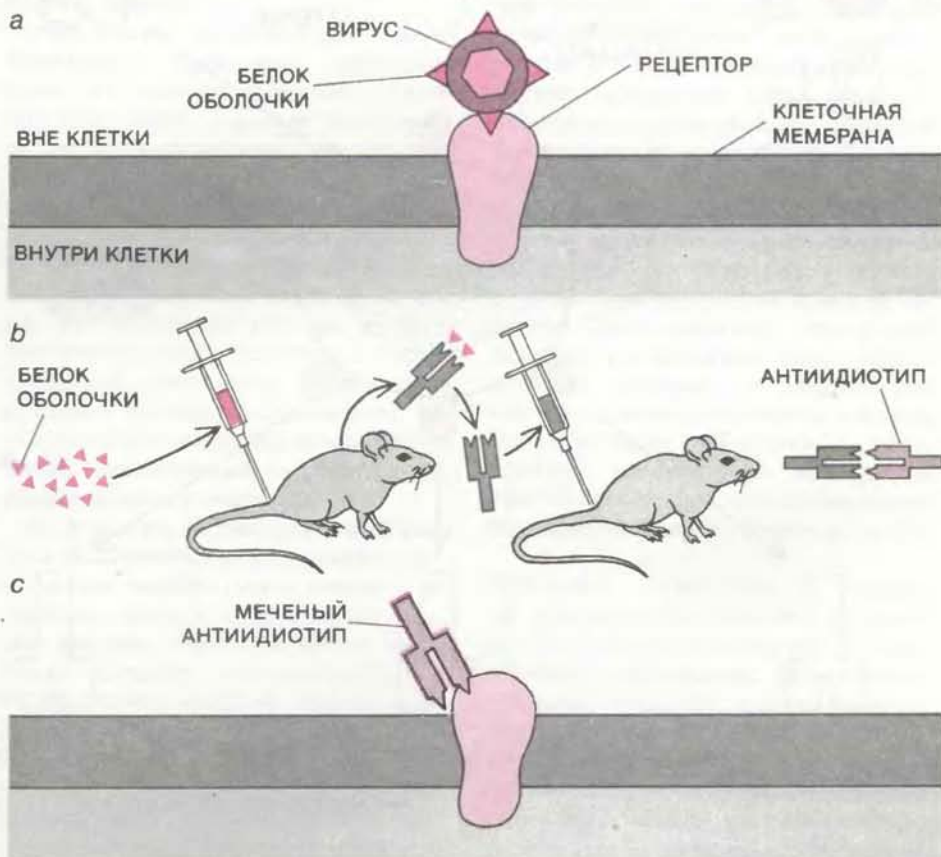
Совместно с Й. Айхбергом и Р. Ланфордом из Юго-Западного Фонда медико-биологических исследований мы провели следующий эксперимент. Двум шимпанзе ввели антиидиотипические антитела кролика, а двум, для контроля, — препарат неспецифических иммуноглобулинов. Затем всех животных заразили вирусом гепатита В. В сыворотке контрольных животных наблюдался высокий уровень ферментов печени и других маркеров инфекции, в то время как у животных, получивших антиидиотип, не было никаких признаков болезни.

НА СЕГОДНЯШНИЙ ДЕНЬ результаты эксперимента с шимпанзе — наиболее прямое доказательство того, что антиидиотип может служить вакциной. Имеются также предварительные данные о том, что антиидиотипы могут быть использованы в качестве вакцин и в случае других болезней. Для ряда инфекционных агентов — вируса Сендай и реовируса (вызывающих легкие инфекции мозга), вируса бешенства, вируса простого герпеса, полиовирусов, а также некоторых болезнетворных бактерий и простейших — в опытах на мышах показано, что введение соответствующего антиидиотипа полностью или частично предохраняет от заболевания.

Антиидиотипические вакцины, если они окажутся перспективными для людей, имеют важные преимущества по сравнению с обычными вакцинами. Используемые в настоящее время вакцинные препараты представляют

собой либо сам инфицирующий агент, убитый или аттенуированный, либо очищенный антиген. Многие антигены, такие как HBsAg, трудно выделить в чистом виде, хотя техника рекомбинантной ДНК и позволяет получать белковые антигены. Антигенные компоненты бактерий и простейших часто состоят из углеводов или жиров, и поэтому не могут быть искусственно синтезированы либо получены с помощью методов генной инженерии. Альтернативный путь — введение самого патогена — не привлекателен, потому, в частности, что аттенуированные организмы иногда восстанавливают свою вирулентность. Антиидиотипические вакцины хороши и тем, что их легко производить с помощью моноклональных антител, и тем, что они не могут вызвать заболевание, для защиты от которого созданы.

Существенна также специфичность антиидиотипических вакцин. Анти-



УЧАСТОК ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ вируса с поверхностью клетки можно выявить и идентифицировать, воспользовавшись антиидиотипом. Для того чтобы вирус мог инфицировать клетку, часть его белковой оболочки должна связаться с комплементарным рецепторным белком клеточной мембраны (а). Вирусный белок вводят экспериментальному животному, выделяют антитела и вводят их другому животному, у которого в результате образуется антиидиотип (b). Если антиидиотип несет «внутренний образ» исходного антигена (вирусного белка), он способен связываться с рецептором клеточной поверхности (c). Антиидиотип метят флуоресцентным или электроплотным веществом, что позволяет увидеть его мишень на клеточной поверхности с помощью светового или электронного микроскопа. Этот подход представляет особую ценность в тех случаях, когда выделить сам вирус и использовать его в качестве пробы для идентификации рецептора затруднительно.

идиотип обуславливает иммунный ответ против только одной антигенной детерминанты, чей «внутренний образ» он несет. Тогда как аттенуированный инфекционный агент нередко имеет несколько антигенных детерминант помимо той, которая индуцирует иммунную защиту, а среди них могут оказаться такие, которые похожи на детерминанты тканей вакцинируемого организма и поэтому вызывают аутоиммунный ответ.

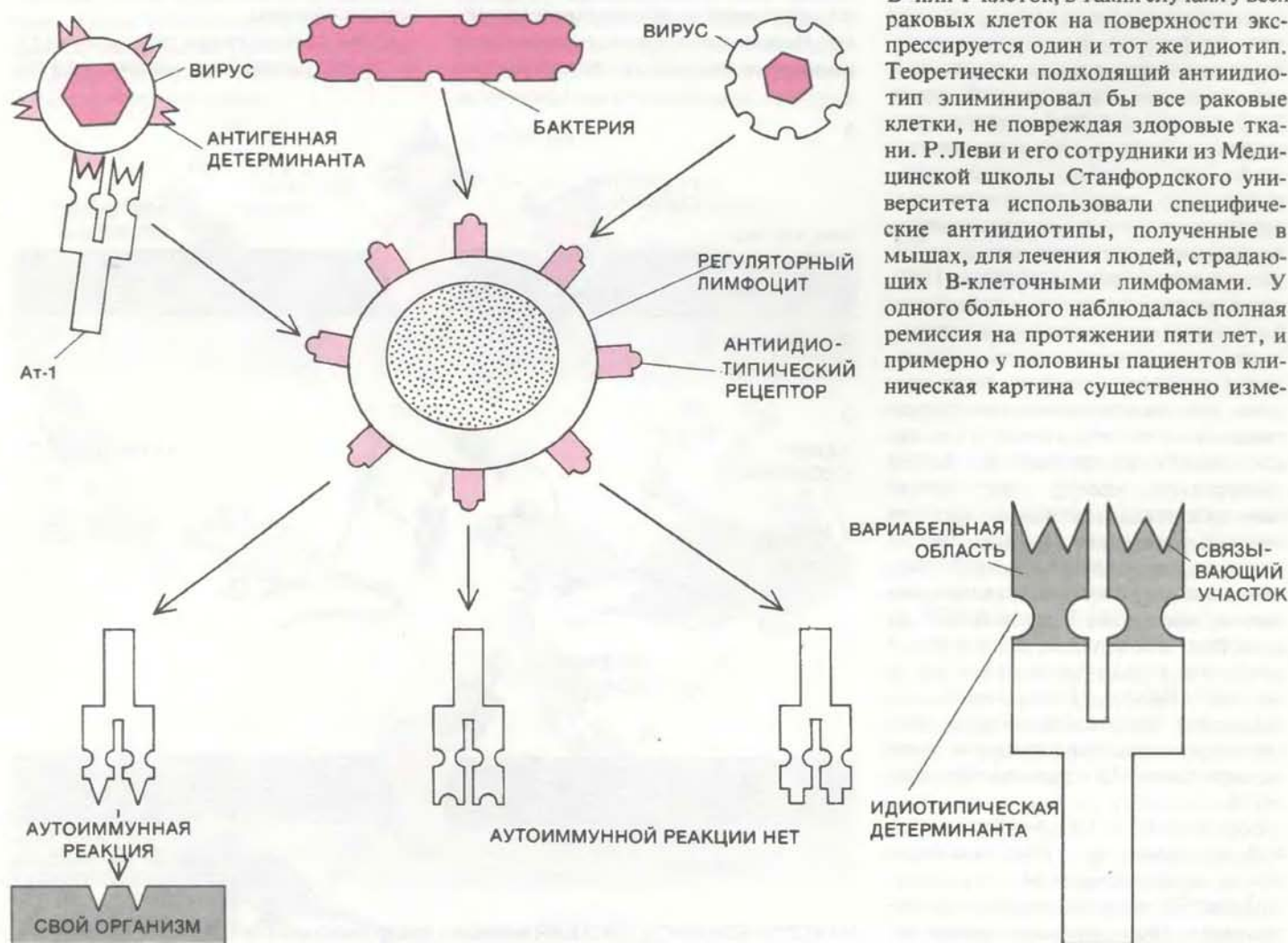
Антиидиотипические вакцины были бы особенно ценны для новорожденных детей, чья незрелая иммунная система не способна вырабатывать антитела к материалу оболочки некоторых патогенных бактерий, содержащему углеводы. Обычные вакцины

против этих бактерий у новорожденных не эффективны. Антиидиотип может имитировать структуру материала оболочки, а поскольку он является белком, то будет вызывать иммунный ответ. Эффективность такой антиидиотипической вакцины для новорожденных уже продемонстрирована на экспериментальных животных.

Однако существует несколько факторов, ограничивающих применение антиидиотипов в качестве вакцин для человека. Инъекция антиидиотипической сыворотки, полученной от животных, таких как кролики, у некоторых людей будет приводить к повышению температуры и аллергическим реакциям. Более того, из-за сложно-

сти идиотипической сети влияние антиидиотипа может быть неоднозначным. Многие антиидиотипы вызывают, судя по всему, такой же иммунный ответ, как и сам антиген; однако другие могут оказывать на иммунную систему супрессорное действие, как предсказывал Эрне. Так, мы обнаружили, что мыши, которым был введен антиидиотип, полученный против мышинных моноклональных антител, специфичных к вирусу простого герпеса, затем, при инфекции самим вирусом, выживали значительно хуже.

АНТИИДИОТИПЫ обещают оказаться эффективными против рака — и в качестве вакцин, и в качестве средства лечения. Раковые заболевания иммунной системы могут возникать в виде единственного клона В- или Т-клеток; в таких случаях у всех раковых клеток на поверхности экспрессируется один и тот же идиотип. Теоретически подходящий антиидиотип элиминировал бы все раковые клетки, не повреждая здоровые ткани. Р. Леви и его сотрудники из Медицинской школы Станфордского университета использовали специфические антиидиотипы, полученные в мышках, для лечения людей, страдающих В-клеточными лимфомами. У одного больного наблюдалась полная ремиссия на протяжении пяти лет, и примерно у половины пациентов клиническая картина существенно изме-



АУТОИММУННОЕ ЗАБОЛЕВАНИЕ может возникнуть вследствие реакции идиотип — антиидиотип. Если исходить из того, что антитело несет идиотипические детерминанты, которые не совпадают с антигенсвязывающим участком (см. рисунок справа), можно предложить следующий механизм развития заболевания. Антитела, образующиеся в ответ на бактериальную или вирусную инфекцию (вверху слева), вызывают размножение клона регуляторных лимфоцитов с антиидиотипическими рецепторами, не похожими на исходный антиген. В то же время регуляторные лимфоциты могут стимулироваться самим патогеном

теми его поверхностными детерминантами, которые подобны идиотипу зараженного организма (вверху в центре и справа). Регуляторные клетки индуцируют образование нового набора антител (внизу). Поскольку идиотипические детерминанты антител не похожи на их связывающий участок, новые антитела не имеют функционального подобия с исходными антителами: они могут обладать совершенно различной специфичностью. Если их мишенью является ткань данного организма, начинается аутоиммунная реакция. Есть указания на то, что таков механизм ревматоидного артрита и системной красной волчанки.

нилась. Однако результаты последних работ группы Леви, а также Дж. Коссмана и его коллег из Национального института рака указывают на то, что в результате введения в организм антиидиотипа могут возникнуть новые раковые клетки, несущие другой идиотип. Чтобы справиться с такой изменчивой популяцией клеток, требуется множество антиидиотипов.

К. Кролик из Научно-исследовательского медицинского центра Техасского университета в Сан-Антонио, Э. Витетта и Дж. Ур из Научно-исследовательского медицинского центра Техасского университета в Далласе применили другой подход для воздействия на раковые клетки антиидиотипами. Они присоединили к антиидиотипу растительный токсин рицин и обнаружили, что полученный препарат уничтожал лейкозные В-клетки мыши в культуре. Антиидиотип связывался с рецепторами на поверхности В-клеток, и вместе с ним туда попадали молекулы токсина, которые благодаря этому разрушали только раковые клетки. Исследователи испытали свой препарат также на животных: у мышей с В-клеточным лейкозом развитие рака замедлялось.

Возможно использовать для борьбы с раком антиидиотипы, образующиеся в самом пораженном организме. По данным Д. Херлин и Н. Копровски из Вистаровского института анатомии и биологии, у больных раком ободочной кишки или раком прямой кишки наблюдалось улучшение после введения мышинных моноклональных антител к антигенным детерминантам поверхности опухолевых клеток. У многих пациентов при этом образовывались антиидиотипы к мышинным антителам. Копровски предположил, что антиидиотип несет «внутренний образ» ракового антигена и потому вызывает реакцию иммунной системы больного против раковой опухоли.

Недавно те же исследователи сообщили, что они получили такой антиидиотип у лабораторных животных. Когда этот антиидиотип, который нес «внутренний образ» основного опухолевого антигена рака ободочной кишки, вводили другим животным, он вызывал образование антител (Ат-3), способных взаимодействовать с данным опухолевым антигеном и идентичных моноклональным антителам мыши (Ат-1), индуцировавшим антиидиотип.

НЕОБЫЧНЫЕ манипуляции, которые оказались возможными с антиидиотипами, обнаружили их до-

стоинства как ценных инструментов для исследования механизмов заболеваний. С помощью антиидиотипов, например, были выявлены участки на поверхности клеток, через которые происходит заражение вирусом. Антиидиотип против антител, распознающих часть белка оболочки вирусной частицы, ответственного за ее прикрепление к клеточной поверхности, может имитировать молекулярную структуру компонентов оболочки, важных для контакта вируса с клеткой. Такой антиидиотип находил бы на клеточной поверхности соответствующий рецептор. М. Грин (в настоящее время работает в Медицинской школе Пенсильванского университета) и Б. Филдс (ныне сотрудник Медицинской школы Гарвардского университета), применив этот подход, обнаружили рецептор для реовируса на поверхности нервных клеток и клеток иммунной системы. Аналогичным путем нам удалось идентифицировать рецептор вируса гепатита В на клетках печени.

Результаты исследований антиидиотипов позволяют предположить, что реакции идиотип — антиидиотип лежат в основе некоторых аутоиммунных заболеваний. Одно из таких заболеваний — миастения гравис, характеризующаяся поражением мышц, которые становятся очень слабыми и быстро утомляемыми. Эти симптомы являются следствием того, что иммунная система атакует ацетилхолиновый рецептор — белок клеточной поверхности, посредством которого мышца воспринимает поступающий от нерва импульс (ацетилхолин — химический посредник в передаче нервного импульса).

Б. Эрлангер, Н. Вассерман и их коллеги (Колумбийский университет) попытались разобраться в иммунологических процессах при миастении. Они вызвали у кролика синтез антител к веществу, связывающемуся с ацетилхолиновым рецептором, выделили их и ввели другому кролику, чтобы получить антиидиотип. По-видимому, антиидиотип нес «образ» важной части связывающегося с ацетилхолиновым рецептором вещества, так как обладал способностью реагировать с кролическим рецептором ацетилхолина. По этой причине он вызывал у животных симптомы миастении гравис. Недавно У. Кливленд из Колумбийского университета, проведя аналогичные эксперименты, вызвал болезнь у мышей путем введения им клеток, секретирующих соответствующие моноклональные антиидиотипические антитела.

При миастении гравис антиидиотип, появившийся по каким-то причи-

нам в организме, взаимодействует с ацетилхолиновым рецептором так, что блокирует или разрушает его. При другом аутоиммунном расстройстве, называемом болезнью Грейвса, которое характеризуется аномальным ростом щитовидной железы, антиидиотип, вероятно, оказывает противоположное действие. Исследователям удалось вызвать заболевание у экспериментальных животных путем введения им антиидиотипа, полученного против антител к тиреотропину — гормону, стимулирующему рост щитовидной железы. Видимо, антиидиотип имитировал гормон и связывался с его рецептором на клеточной поверхности, что стимулировало рост щитовидной железы. Подобные взаимодействия, происходящие в организме спонтанно, могут приводить к заболеваниям и у человека.

В развитии таких аутоиммунных заболеваний, как ревматоидный артрит и системная красная волчанка, при которых поражается соединительная ткань, тоже, по-видимому, участвуют антиидиотипы. В обоих случаях признаком заболевания (и, возможно, существенной стороной его механизма) является присутствие в сыворотке особых антител — ревматоидного фактора (антител к участку молекулы иммуноглобулина) при ревматоидном артрите и антител к ДНК при системной красной волчанке. Было показано, что у всех больных эти антитела имеют один и тот же идиотип, а значит, они должны взаимодействовать с одним антиидиотипом. Вероятно, антиидиотип способствует возникновению болезни тем, что стимулирует образование сывороточных антител.

ТАКИМ ОБРАЗОМ, реакции идиотип-антиидиотип открывают путь к развитию сложных и разнообразных заболеваний. Эти взаимодействия создают также возможность для превентивного и терапевтического вмешательства в иммунную систему. Предотвращение некоторых инфекций и лечение некоторых видов рака путем манипулирования иммунной сетью с помощью антиидиотипов представляется вполне реальным. Более глубокое понимание реакций идиотип — антиидиотип позволит найти способы бороться с болезнями, в основе которых лежат дефекты самой иммунной сети. Не исключено также, что антиидиотип может быть использован в качестве вакцины или терапевтического агента для заболевания иммунной системы совершенно иного типа — синдрома приобретенного иммунного дефицита.

Строение горных хребтов

Что подпирает горы?

Некоторые из них стоят на жестких плитах, другие поддерживаются «корнями», уходящими глубоко в мантию.

Хребты второго типа могут разрушаться, если их склоны не подвергаются горизонтальному сжатию

ПИТЕР МОЛНАР

ЧЕЛОВЕК, впервые увидевший горы, бывает поражен их размерами, причудливостью рельефа, изрезанного ледниками и потоками, и очертаний, сглаженных и украшенных растительностью. Многие испытывают при этом такое же благоговение, как перед величественными архитектурными постройками, например перед уходящими ввысь сводами и витражами готического собора. Однако, когда взгляд скользит по ландшафту от одной детали к другой, не всегда помнишь, какие огромные силы требуются для создания горного хребта и для того, чтобы его поддерживать. Хребет, как и собор, опирается на фундамент, без которого он бы обрушился. Тому, кто хочет не просто изумленно созерцать горы и горные хребты, данная статья поможет понять действие невидимых механизмов, «поддерживающих» эту зримую красоту. Таким образом, цель статьи — описать не архитектуру, а глубинное строение — тектонику горных хребтов.

Два вида опоры

Сравнение гор с архитектурными сооружениями — не просто метафора: найденные архитекторами решения проблемы опоры строительных конструкций обнаруживаются в строении горных хребтов. Одно решение состоит в том, чтобы строить здание на прочном жестком фундаменте. Так, самые высокие в мире здания стоят на манхаттанских кристаллических сланцах — породах, которые не испытывали заметного прогресса или деформации (и, значит, не стали менее прочными) с докембрийского времени, закончившегося около 600 млн. лет назад. Высочайшие в мире горы, Гималаи, на Индийском субконтиненте похожи на небоскребы Манхаттана: они стоят на мощном шите прочных докембрийских пород.

Однако для опоры крупной конструкции не обязательно использовать фундамент из прочной породы. В Кембридже, шт. Массачусетс, я работал в двадцатитажном здании, которое стояло на сваях, вбитых на глубину 40 м в искусственную насыпь и ледниковую морену в том месте, где когда-то был приливный бассейн реки Чарлз-Ривер. Это здание как бы плавает на водонасыщенных отложениях и в этом смысле напоминает большой корабль. Горы тоже могут поддерживаться благодаря подъемной силе легкого материала, лежащего на более тяжелом. Примером может служить Тибетское нагорье, расположенное к северу от Гималаев, которое почти целиком находится на высоте более 4500 м. Породы, которыми сложен Тибет, в отличие от пород Гималаев, по-видимому, менее прочны и несколько деформированы, подобно обводненному грунту под зданием, где я работал.

Топографическая съемка Индии

Гималаи и соседний с ними Тибет указывают, таким образом, на существование двух совершенно различ-

ных механизмов, ответственных за поддержание горных хребтов (что не отрицает возможности совместного действия обоих механизмов в каком-то хребте). Сто сорок лет назад было предпринято исследование этого региона, которое впервые прояснило вопрос о строении гор. В нем приняли участие топограф Дж. Эверест, склонный к научным изысканиям архидиакон Калькутты Дж. Пратт и выдающийся специалист в области математической физики Королевский астроном Великобритании Дж. Эйри. Сама история их исследований — это увлекательный фрагмент развития человеческой мысли.

В 1840-х годах Эверест руководил первой топографической съемкой Индийского субконтинента. Его сотрудники определяли расстояния на местности двумя способами. Короткие расстояния они измеряли, используя обычные приемы, которые применяют при триангуляционной съемке, и уже на основе этого постепенно определяли большие расстояния. Кроме того, они могли непосредственно определять относительное положение двух удаленных друг от друга точек, наблюдая положение некоторой выбранной звезды из обеих точек од-

ГИМАЛАИ И ТИБЕТ дают примеры действия двух механизмов, поддерживающих горные хребты и высокогорные плато. Снимок сделан с космического корабля «Челленджер» в южном направлении; изображенный район шириной 175 км пересекает южный Тибет, Непал и северную Индию. Снежные вершины Гималаев частично скрыты облаками. Они располагаются на северном краю Индийской плиты, которая прогибается так, что их вес распределяется равномерно; равнина Ганга, часть которой видна за горами, своим существованием обязана этому прогибанию. Высокогорное Тибетское плато, напротив, поддерживается глубокими корнями коры. Мощная кора, как правило, ослаблена и, если ее не сдерживают горизонтальные силы, может расползаться. Тибет медленно расползается и оседает. Крупная долина в центре снимка — грабен, образовавшийся в том месте, где блок коры опускался по нормальным сбросам по мере того, как кора вблизи него расползалась. Грабен пересекает складки широтного простиранья, оставшиеся после столкновения Индии и Евразии, в результате которого образовались Гималаи. Они продолжают к югу в долину Кали-Гандак, огибающую вершины Аннапурны с востока и Дхаулагири с запада. Высота обоих пиков больше 8000 м.

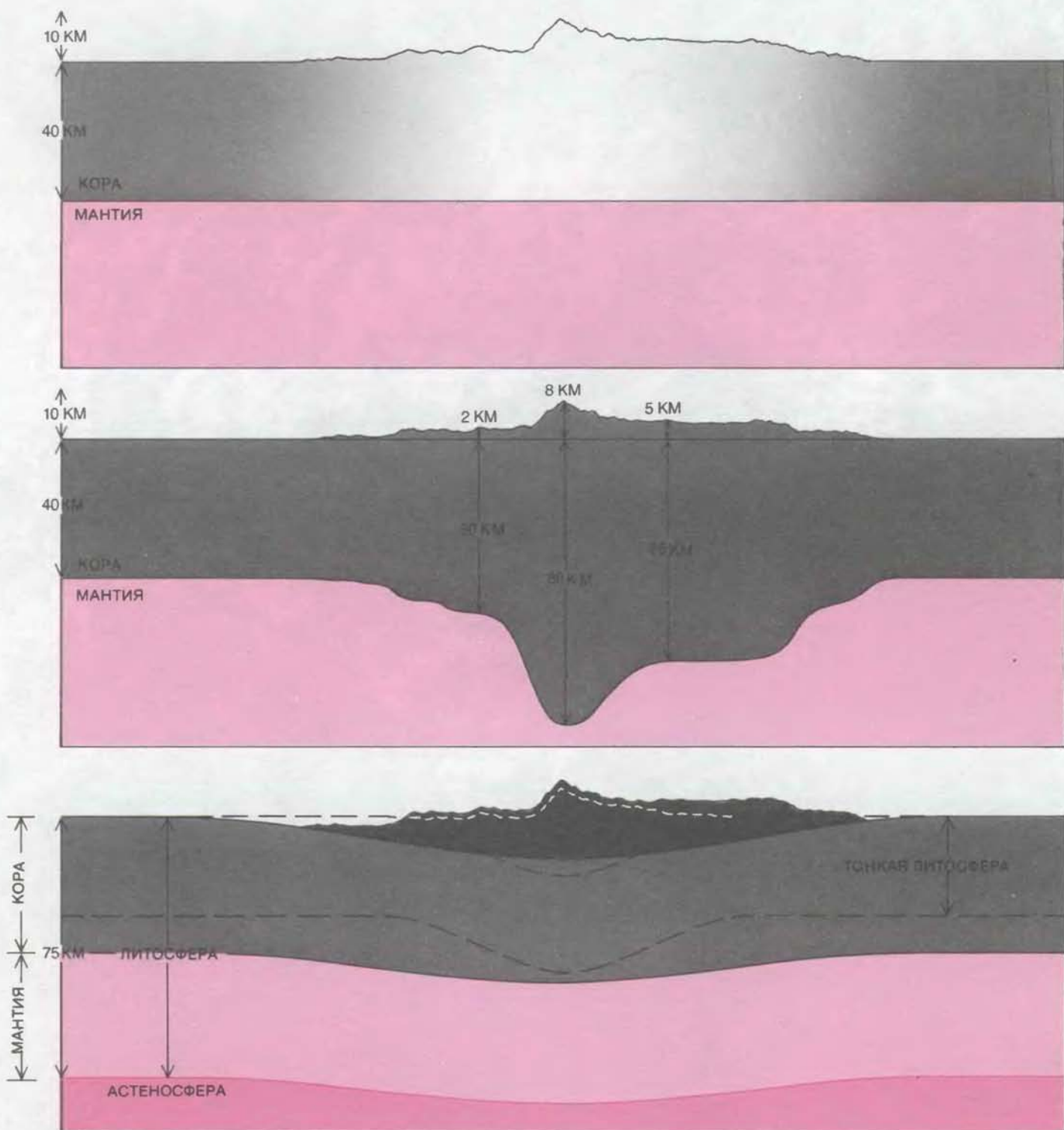


новременно. Теоретически оба способа должны были давать близкие результаты, но на практике возникли значительные расхождения. Самое знаменитое из них касалось определе-

ния расстояния между населенными пунктами Кальян и Кальянпур, расположенными соответственно в 100 и 700 км к югу от фронта Гималаев. По данным астрономической съемки рас-

стояние между этими пунктами оказалось примерно на 150 м короче, чем по данным триангуляционной съемки.

Эверест считал, что расхождение



ТРИ МЕХАНИЗМА изостатической компенсации, отражающие разные представления о том, как поддерживаются горные хребты. В XIX в. Дж. Пратт и Дж. Эйри считали, что горы поддерживаются исключительно подъемная сила коры, плавающей на более плотной мантии; с этой точки зрения тяжесть избыточной массы горного хребта компенсируется дефицитом массы непосредственно под ним. Пратт полагал (*верхний профиль*), что плотность коры изменяется в латеральном направлении и что горы высоки там, где плотность мала (*светло-серый цвет*). Эйри считал (*средний профиль*), что кора имеет одинаковую плотность, но что ее мощность под горными хребтами больше: т. е. горы,

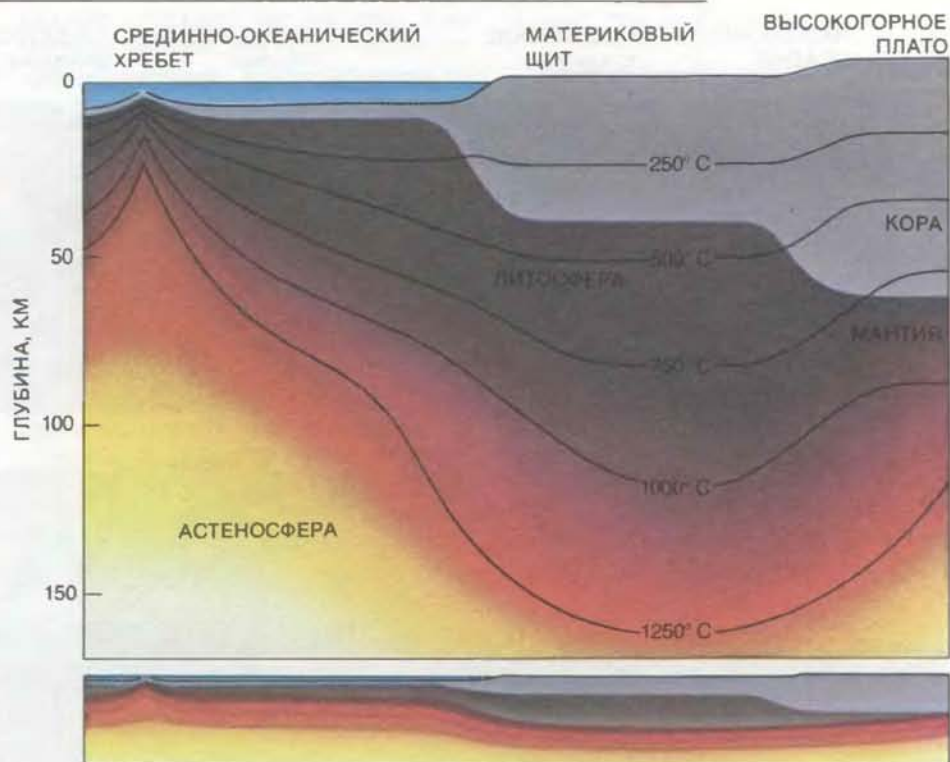
подобно айсбергам, поддерживаются глубокими корнями плавучего материала. Наконец, Венинг-Мейнес высказал предположение, что вес горного хребта компенсируется скорее в региональном масштабе, чем в локальном (*нижний профиль*). Под тяжестью гор прогибается жесткий слой, называемый теперь литосферой, который включает кору и часть мантии и лежит на ослабленном пластичном слое, называемом астеносферой. Благодаря прогибанию литосферы нагрузка распределяется на обширный регион. Горы выше на мощной литосфере, так как последняя прогибается меньше, чем тонкая литосфера (*пунктир*).

объясняется ошибками, накапливающимися при триангуляционной съемке, но в 1854 г. Пратт показал, что ошибка заключена в астрономических наблюдениях. Для того чтобы определить положение звезды на небесной сфере, нужно было точно знать направление в зенит (т. е. вертикальное направление), которое находили с помощью отвеса. Пратт предположил, что гравитационное притяжение, создаваемое огромной массой Гималаев и Тибета, должно отклонять отвес к северу, и у Кальяна это отклонение больше, чем у Кальянпура, поскольку Кальян расположен ближе к горам. Получившаяся в результате разница в измеренных направлениях в зенит должна была привести к ошибке в вычислении расстояния между этими двумя населенными пунктами.

Когда Пратт попытался определить величину ошибки, учтя массу Гималаев и Тибета, он был крайне озадачен. Полученные им результаты свидетельствовали о том, что отвес должен был отклоняться на 28" у Кальяна и на 12" у Кальянпура. Разница в 16" может показаться незначительной, но в действительности она соответствовала ошибке в астрономическом измерении расстояния в три раза большей, чем наблюдавшееся расхождение в 150 м. Пратт сделал вывод, что реальная разница в гравитационном отклонении отвеса составляла всего около 5", а это означало, что его оценка массы гор была завышенной; иначе говоря, под Гималаями и Тибетом масса породы была гораздо меньше, чем он предположил, анализируя рельеф. На самом деле, если бы Пратт имел точные топографические карты (на его картах альтитуды для большей части Тибета едва превышали половину истинных значений), «недостающая» масса оказалась бы еще большей.

Кора и мантия

Эйри читал работу Пратта за письменным столом в Лондоне. Сначала предположение о «пропавшей» массе удивило его, но он быстро понял, что поверхность Земли, по-видимому, не достаточно жесткая, чтобы поддерживать гигантскую массу гор, совершенно не деформируясь. Деформация приводит к дефициту массы под горами, который компенсируется избыточной массой на поверхности. Компенсация этого типа напоминает знакомое многим явление, открытое Архимедом, который обнаружил его, когда погрузился в наполненную водой ванну и вода перелилась через край. В наше время геологи называют это явление изостазией.



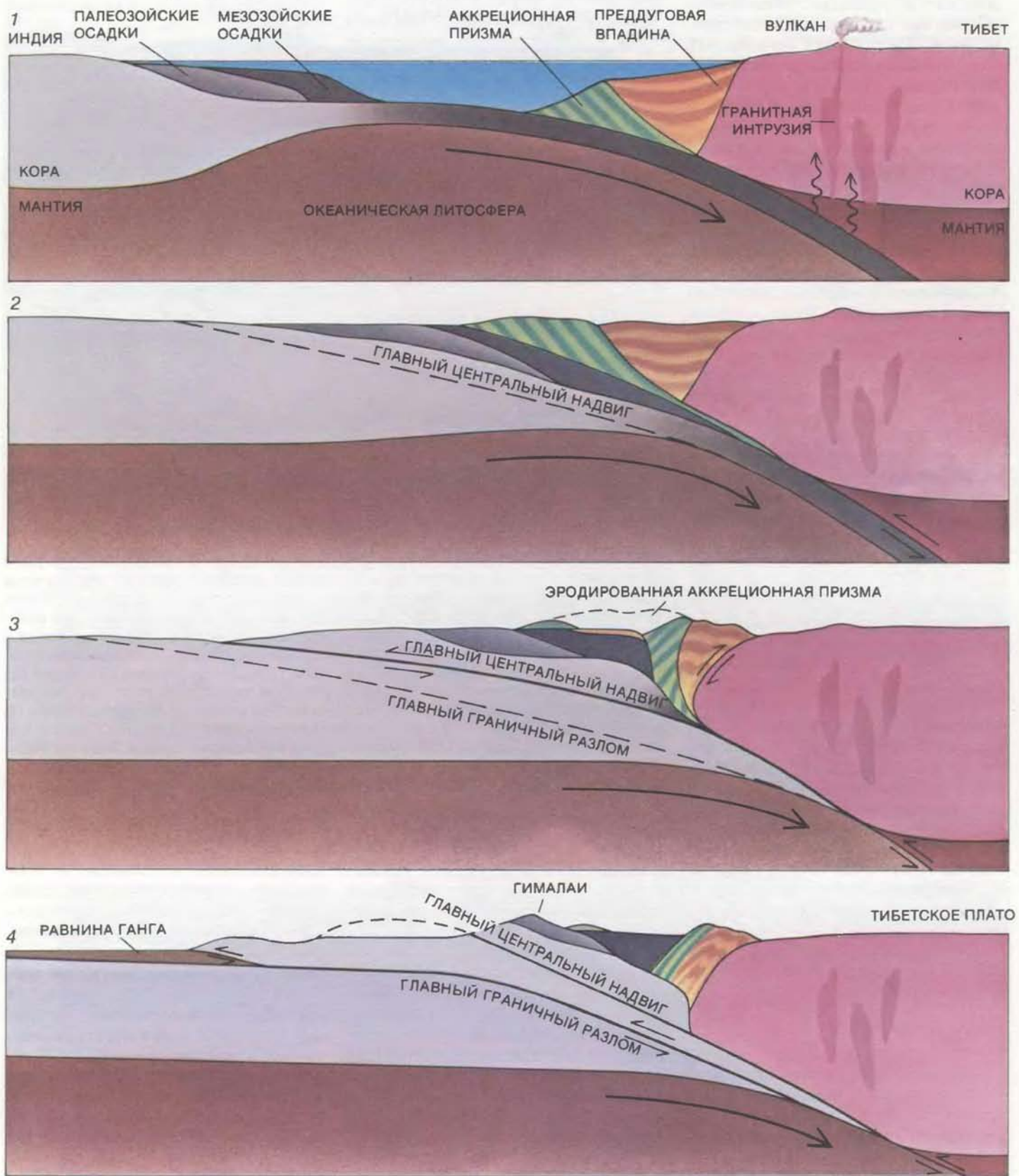
ЛИТОСФЕРА И АСТЕНОСФЕРА. Вертикальный масштаб на верхнем профиле увеличен по сравнению с горизонтальным, а на нижнем одинаков. Эти два слоя различаются по температуре: литосфера холоднее и, следовательно, жестче астеносферы. Граница между ними не резкая; можно считать, что она соответствует температуре около 1300 °C. Химическая граница между корой и мантией, напротив, выражена отчетливо. Мощность литосферы весьма изменчива. Под срединно-океаническими хребтами, там, где кора формируется в результате восходящего течения горячего вещества из астеносферы, она очень тонкая; под материковыми щитами, которые образованы корой, не прогревавшейся по меньшей мере в течение 600 млн. лет, ее мощность может превышать 150 км. Однако под некоторыми высокогорными плато литосфера тонкая. Так, под Тибетом температурная граница между литосферой и астеносферой, по-видимому, попадает в пределы коры, а не верхней мантии. Кора под Тибетом разогретая и пластичная.

Согласно изостатической концепции Эйри более легкая земная кора плавает на более тяжелом, но менее прочном веществе, находящемся практически в жидком состоянии. Химический состав коры в настоящее время хорошо изучен; причем доказано, что кора действительно легче нижележащего слоя — мантии. Хотя вещество в обоих слоях состоит главным образом из кислорода и кремния, в мантии присутствует гораздо больше магния и относительно тяжелого элемента — железа. В коре, напротив, сосредоточено больше относительно легких элементов, включая натрий, кальций, алюминий и калий. Как следствие плотность коры меньше плотности мантии, и поэтому вполне разумно считать, вслед за Эйри, что кора плавает на мантии, подобно тому, как сливки плавают на молоке. Граница между корой и мантией, как и граница между сливками и молоком, совершенно отчетлива.

Пратт разделял представление Эйри о плавающей коре, однако расходился с ним во взглядах на механизм

изостатической компенсации в нижнем слое. Пратт полагал, что температура и, следовательно, плотность коры меняются от места к месту. Там, где кора сильнее разогрета и имеет меньшую плотность, она поднимается, образуя горы, а там, где кора более холодная и более плотная, она опускается и формирует обширные низменности. Эйри со своей стороны считал, что плотность коры везде примерно одинакова и что меняется лишь ее мощность. Он утверждал, что под горами кора толще, чем под низменностями, что видимые горы подобны вершинам айсбергов и, как и айсберги, поддерживаются глубокими корнями.

Сейсмологические исследования, проведенные в последние несколько десятилетий, подтвердили предсказание Эйри о том, что мощность коры весьма изменчива. Мощность континентальной коры достигает в среднем 30—40 км, но под горами она может увеличиваться до 75 км. Корни коры компенсируют тяжесть избыточной массы гор, вытесняя более плотные



ГИМАЛАИ сформировались, когда Индийская плита, двигаясь на север, столкнулась с Евразийской плитой. Около 60 млн. лет назад океаническая литосфера у ведущего края Индийской плиты поддвигалась под южный Тибет (1). Магма извергалась из вулканов и формировала гранитные интрузии. Осадки и океаническая кора, соскабливаемые с погружающейся плиты, накапливались в аккреционной призме, которая образовывала преддуговую впадину, заполнявшуюся осадками, сносимыми с Тибета. 55—40 млн. лет назад две массы суши столкнулись (2). По-видимому, кора Индийской плиты обладала слишком большой плавучестью, чтобы дальше погружаться под Тибет; в результа-

те она была рассечена главным центральным надвигом. Впоследствии движение продолжалось по этому разлому (3). Пластина коры, отщепившаяся от Индийской плиты, надвинулась на приближавшийся субконтинент. Аккреционная призма и осадки преддуговой впадины были надвинуты в северном направлении на Тибет. 20—10 млн. лет назад главный центральный надвиг перестал быть активным. С этого времени Индийская плита стала скользить по главному граничному разлому (4). На субконтинент надвинулась вторая пластина, приподнявшая первую. Эти две пластины образуют основную массу Гималаев.

породы мантии. Кора под океанами, напротив, должна компенсировать вес воды, плотность которой низкая, и поэтому имеет мощность всего около 6 км. Благодаря перемещению пород под действием силы тяжести Земля находится в состоянии, близком к изостатическому равновесию, так что масса воображаемого столба, проходящего сквозь кору и мантию Земли, везде примерно одинакова независимо от того, находится на поверхности горный хребет или дно океана.

Литосфера и астеносфера

Несмотря на такие солидные подтверждения, гипотеза изостазии, предложенная Эйри, справедлива лишь в некотором приближении. В начале нашего столетия сейсмологи, еще не получившие подтверждений, что мощность коры изменчива, установили, что верхняя мантия, как и кора, находится в твердом состоянии, а не в жидком. Таким образом, представление о коре, плавающей на мантии, оказалось слишком упрощенным; то же самое можно сказать и о гипотезе Эйри. В 1930-е годы голландский геофизик Ф. Венинг-Мейнес предположил, что изостатическая компенсация нагрузки рельефа происходит скорее в региональном масштабе, чем в локальном, и не ограничивается формированием корневой коры. (В предельном случае это очевидно: под небоскребами Нью-Йорка кора не внедряется в мантию на сотни метров.)

Согласно Венинг-Мейнесу, большая нагрузка, обусловленная, например, горным хребтом, заставляет прогибаться жесткий внешний слой Земли, который сейчас принято называть литосферой. В литосферу обычно входит не только кора, но и верхний слой мантии. Глубже располагается ослабленный пластичный слой — астеносфера. В первом приближении можно считать, что литосфера упруга и под хребтом прогибается, распределяя вес хребта равномерно по обширному региону. Прогибание литосферы создает впадину, параллельную хребту. В результате тяжесть избыточной массы гор частично компенсируется за счет дефицита массы в прогибе, а не только под самим хребтом.

Литосфера, как теперь известно, не является сплошной, а состоит примерно из 20 отдельных плит. Перемещением плит по астеносфере объясняют формирование океанических впадин и горных хребтов, а также другие явления; эту теорию называют тектоникой плит. Хотя при описании таких горизонтальных перемещений плиты

обычно трактуют как жесткие, а не как упругие тела, это не противоречит предположению Венинг-Мейнеса о том, что литосфера упруго прогибается под тяжестью рельефа. Литосферная плита в какой-то степени похожа на деревянный стол: когда стол толкают по полу, он движется как жесткое тело, но если на него положить тяжелый груз, он может прогнуться.

Астеносфера оказывает сопротивление прогибанию литосферы благодаря выталкивающей силе, но литосфера не плавают на астеносфере. В отличие от границы между корой и мантией на границе между литосферой и астеносферой нет изменения химического состава, и, следовательно, разница плотностей по обе ее стороны незначительна. Действующая со стороны астеносферы выталкивающая сила, которая старается вернуть литосферу в прежнее положение, появляется в результате того, что плотность астеносферы больше, чем плотность воздуха или воды, лежащих на прогнувшейся литосфере.

Литосфера и астеносфера различаются не столько по составу, сколько по температуре: первая холоднее, чем и объясняется ее большая жесткость. В пределах литосферы температура быстро возрастает с глубиной, достигая на границе с астеносферой примерно 1300 °C. Эта граница не такая резкая, как поверхность раздела между корой и мантией, и среди исследователей существует разногласие в том, как ее определять. Одно несомненно: мощность литосферы, как и коры, меняется в широких пределах: от 10 км и меньше до более чем 150 км.

Чем толще деревянный стол, тем большую нагрузку он может выдерживать и тем меньше прогибается. То же самое справедливо и в отношении литосферы. Толстая плита прочнее тонкой и меньше прогибается под тяжестью горного хребта. Следовательно, при прочих равных условиях на толстой плите хребет должен быть выше, чем на тонкой. Тем не менее высокие горы могут существовать и на тонкой плите, если они поддерживаются, как представлял себе Эйри, глубокими корнями коры. Механизмы изостазии, предложенные Эйри и Венинг-Мейнесом, не исключают друг друга. Установлено, что горный хребет может опираться на прочный фундамент из мощной литосферы (как нью-йоркские небоскребы), на глубокие корни из легкой коры (и плавать, подобно кораблю) или и на то и на другое. Относительное значение каждого из этих механизмов различно в разных хребтах.

Гималаи и Тибет

Для того чтобы определить, какой механизм важнее для Гималаев и Тибетского нагорья, следует прежде всего рассмотреть, как образовались эти горы. Около 70 млн. лет назад Индостан, а вместе с ним и породы, которыми в настоящее время сложены Гималаи, находился примерно в 8000 км к югу от своего теперешнего положения и перемещался в северном направлении от Антарктиды к Азии на крупной плите, состоящей в основном из океанической литосферы. Южный Тибет в то время находился на южном берегу Азии приблизительно на 2000 км южнее, чем сейчас. В процессе столкновения Индийской и Евразийской плит океаническая литосфера к северу от Индийского материка изгибалась вниз и поддвигалась под Тибет почти так же, как плиты, расположенные под Тихим океаном, в настоящее время поддвигаются под Японские и Алеутские острова и под Южную Америку. (Этот процесс называется субдукцией.) Можно представить себе Индийскую плиту в виде ленты конвейера, наматывающейся на барабан, расположенный под южными Тибетом.

Примерно 55—40 млн. лет назад Индийский материк натолкнулся на южный берег Азии, и в этом месте лента конвейера стала сжиматься; скорость Индийской плиты уменьшилась от 10—20 см в год до 5 см в год (скорость, с которой Индия и сейчас продолжает вдавливаться в Евразию). По мере того как Индия погружалась под Тибет, северный край субконтинента расщеплялся углубляющимся к северу разрывом. Кора ниже поверхности разрыва продолжала двигаться в северном направлении, а пластина материкового шельфа и глубинной коры выше поверхности разрыва были буквально соскоблены с приближающегося субконтинента и надвинуты назад, на его кровлю. 20—10 млн. лет назад этот процесс повторился: первый разрыв перестал быть активным, и на больших глубинах образовался второй. Вторая пластина коры Индийского субконтинента надвинулась на него, приподняв первую пластину. Эродированные реликты этих двух пластин древней коры Индийского материка в настоящее время обнажаются в Гималаях; они составляют основную массу хребта.

К югу от хребта Индийская плита прогнулась под тяжестью Гималаев. Образовавшийся прогиб в течение миллионов лет заполнялся осадками, сносимыми с гор, что привело к формированию обширных равнин Ганга и Инда. Результаты сейсмологических

исследований, полученные Индийской комиссией по нефти и газу, документально подтвердили наличие прогиба в коренных докембрийских породах под осадочными отложениями. Коренные породы полого наклонены к горам, достигая глубины около 5 км у фронта гор. В 200—300 км южнее этого фронта коренные породы выходят на поверхность.

Если принять во внимание огромный вес Гималаев, этот прогиб нельзя считать слишком глубоким. Индийская плита не прогнулась сильно потому, что ее мощность и прочность особенно велики. Какова именно мощность этой или любой другой плиты, точно установить невозможно, но если принять для простоты некоторые допущения, удастся оценить относительные мощности разных плит. Э. Лион-Кан из Парижского университета показала, например, что мощность Индийской плиты бо-

лее чем в два раза превышает мощность Тихоокеанской плиты под Гавайскими островами.

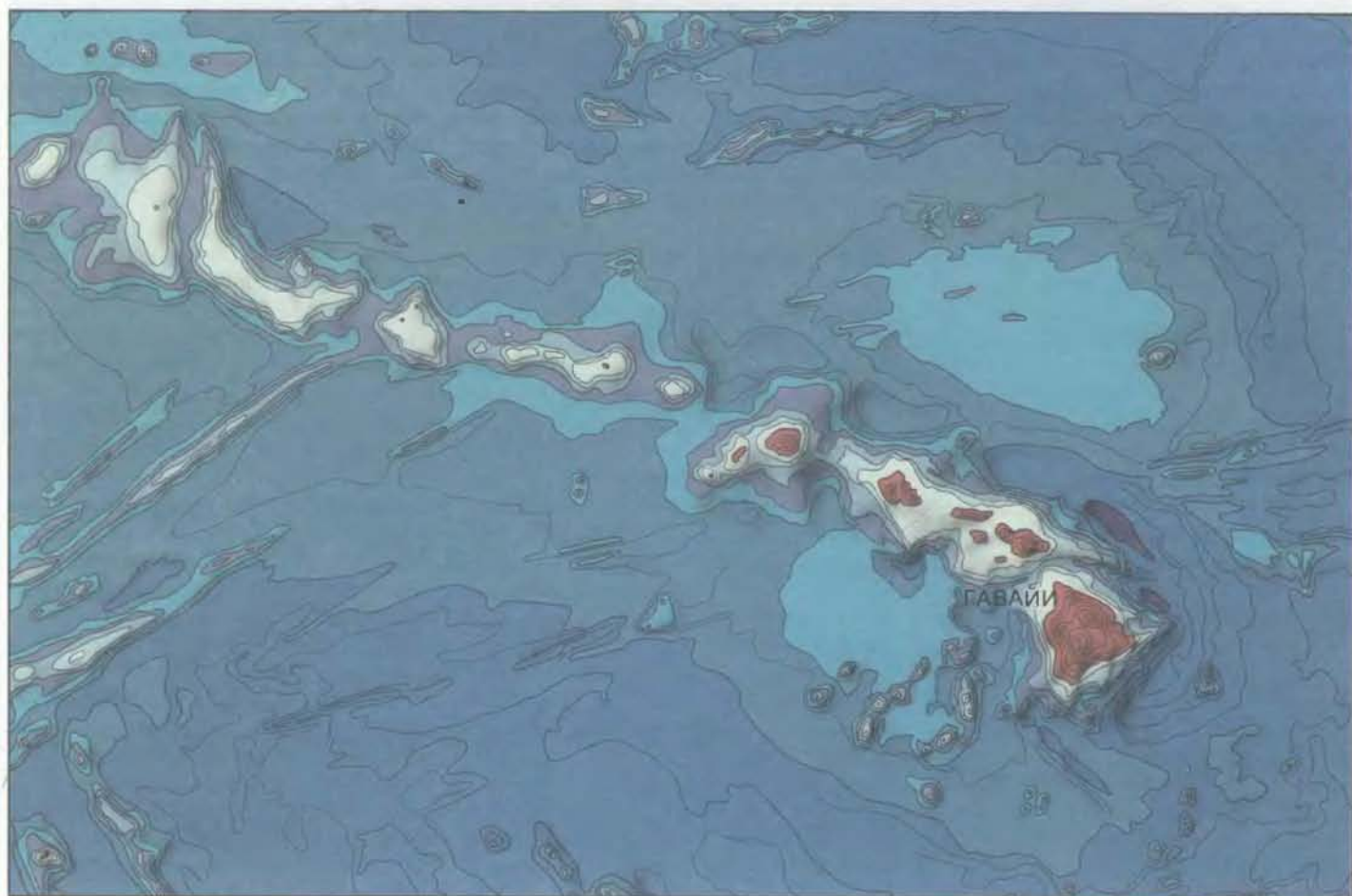
Именно в силу высокой прочности и большой мощности литосферы Индийского полуострова гималайские пики столь высоки. Мощность коры под Гималаями составляет лишь 55 км — больше, чем под остальной частью Индии (35—40 км), но гораздо меньше, чем те 80 км, которые необходимы для поддержания этих гор исключительно за счет выталкивающей силы. Гималаи дают как раз тот пример, когда представление Эйри о локальной изостатической компенсации оказывается несостоятельным, а концепция Венинг-Мейнеса о региональной компенсации, обусловленной прогибанием литосферы, подходит как нельзя лучше.

В то же время представление Эйри годится для Тибетского плато. Тибет простирается к северу от Гималаев на

сотни километров, и лишь в нескольких долинах у его краев высоты уменьшаются до 4500 м. Сейсмологические исследования, которые провели Чэн Ванпин из Иллинойского университета в Эрбана-Шампейн и Б. Романович из Парижского университета, позволяют предположить, что мощность коры под Тибетом достигает 65—70 км — больше, чем под вершинами Гималаев. Вес этого высокогорного плато компенсируется прежде всего выталкивающей силой его глубоких корней, как еще 130 лет назад предположил Эйри.

Другие хребты

Примеры других горных хребтов и высокогорных плато подтверждают деление структур на два класса, представителями которых являются Гималаи и Тибет. Многочисленные складки в слоистых породах Альп



ПРОГИБАНИЕ ЛИТОСФЕРЫ хорошо заметно на батиметрической карте района вокруг Гавайских островов. Острова представляют собой вулканические структуры, сложенные лавой, которая извергалась на дно океана. Под их тяжестью литосфера прогибается на несколько сотен метров, образуя «ров», достигающий наибольшей глубины вокруг острова Гавайи. Обширная область океанского дна вокруг этого архипелага приподнята, вероятно, благодаря восходящему течению разогретого вещества в астеносфере. К северу и югу от Гавайских островов глубина океана постепенно увеличивается.

ГЛУБИНА, М

■ ВЫШЕ УРОВНЯ МОРЯ

□ 0 — 1 000

■ 1 000 — 2 000

■ 2 000 — 3 000

■ 3 000 — 4 000

■ 4 000 — 4 500

■ 4 500 — 5 000

■ 5 000 — 6 000

■ ГЛУБЖЕ 6000

служат доказательством того, что в целом Альпы образовались подобно Гималаям: материал коры соскабливался с северного края Европы и надвигался в северном направлении на Европейскую плиту, когда она сталкивалась с Итальянским выступом Африканской плиты. Молассовую впадину на северо-западе Швейцарии можно считать аналогом равнин Ганга и Инда: она заполнена обломочным материалом, снесенным с Альп, а ее существование обусловлено, по крайней мере отчасти, прогибанием Европейской плиты под тяжестью гор. Г. Карнер, который в настоящее время работает в Даремском университете, и Э. Уоттс из Геологической обсерватории Ламонт-Доэрти Колумбийского университета показали, что мощность Европейской плиты вдвое меньше мощности Индийской плиты. Эта разница, вероятно, помогает объяснить, почему Гималаи почти вдвое выше Альп: они стоят на более прочном фундаменте.

Скалистые горы в Канаде тоже располагаются на прогнувшейся литосферной плите. До сих пор обсуждается вопрос о том, как именно они образовались. Ясно, однако, что канадские Скалистые горы состоят из пластин осадочных пород, которые последовательно отделились от подстилающих пород фундамента и надвинулись одна на другую в восточном направлении. Детальное изучение этого района показало, что породы фундамента, представляющие собой часть докембрийского Канадского щита, полого падают на запад, под горы. Наклон литосферы свидетельствует о том, что вес гор компенсируется в региональном масштабе, как предполагал Венинг-Мейнес.

Другим примером региональной компенсации могут служить Гавайские острова, хотя причина их образования совсем иная. Эти острова возникли в результате вулканической деятельности из расплавленных пород, поднимавшихся из астеносферы через литосферу Тихоокеанской плиты и изливавшихся на дно океана. Так сформировались гигантские пики, например Мауна-Кеа на острове Гавайи, который возвышается на 4200 м над уровнем моря и примерно на 9000 м над окружающим океанским дном. Под тяжестью островов Тихоокеанская плита прогибается на несколько сотен метров, образуя вокруг них «ров». Непосредственно за рвом плита слабо изогнута вверх. Изгиб обусловлен тем, что астеносфера противодействует прогибанию литосферы.

Если фундаменты Альп, канадских Скалистых гор и Гавайских островов похожи на фундамент Гималаев, то



ПЕРУАНСКИЕ АНДЫ поддерживаются глубокими корнями коры. Под западной частью Кордильеры-Бланка мощность коры увеличилась за счет внедрения магматического материала, поднимавшегося над плитой Наска по мере того, как последняя погружалась под Южную Америку. Конвергенция двух плит также увеличивает мощность коры в результате надвигания одной плиты на другую или сжатия коры в горизонтальном направлении. Формации смятых в складки пород на востоке, в Субандийских Кордильерах, доказывают, что кора сжималась и поднималась по мере того, как Бразильский щит поддвигался под горную систему. Смятые в складки осадочные породы в высокогорном плато заставляют предположить, что это плато образовалось раньше в результате того же самого процесса. Поэтому многие геологи считают, что высота Анд и мощность коры обусловлены в основном сжатием коры, а не магматизмом. Хотя склоны хребта все еще сдавливаются с боков, кора в высокогорных Андах испытывает растяжение: на западном склоне хребта Кордильеры-Бланка огромные блоки опускаются по нормальным сбросам. Анды могут обрушиваться по мере того, как поддерживающие их горизонтальные силы будут ослабевать.

Анды, самые высокие горы Западного полушария, в этом отношении больше напоминают Тибет. Вес хребта, по-видимому, компенсируется выталкивающей силой, которая действует на корни коры, достигающие глубины 70 км. Кора в районе Анд была предметом спора по одному из основных нерешенных вопросов о формировании гор: за счет чего (в противоположность вопросу «почему», на который ответил Эйри) увеличивается мощность коры под многими хребтами.

Здесь возможны два ответа. Во-первых, мощность коры увеличивается за счет магмы, которая поднимается из мантии и застывает в коре, образуя интрузии гранитов и других магматических пород. Во-вторых, блок коры становится толще, если с краев он сдвигается горизонтальными силами и благодаря этому сжимается. В Андах интрузивный магматизм и горизонтальное сжатие коры происходят бок о бок; вопрос в том, какой процесс в большей степени способствует увеличению мощности коры.

Западная Кордильера Анд представляет собой такую же вулканическую дугу, какие обычно обнаружива-

ют над зонами субдукции, где одна литосферная плита поддвигается под другую. По мере того как плита Наска, которая несет кору Тихого океана, погружается в астеносферу, она прогревается и расплавленные породы — либо из самой плиты, либо из астеносферы под ней — внедряются в кору надвигающейся сверху Южно-американской плиты, образуя вулканы и гранитные интрузии. Следовательно, в западных Андах и на прибрежных равнинах Перу и Чили развиты преимущественно магматические породы. Однако высокогорное Центральное плато и Восточная Кордильера сложены большей частью не породами магматического происхождения, а толщами осадочных пород, смятых в складки и надвинутых одна на кровлю другой. Складчатость и надвигание свидетельствуют о том, что кора в этих регионах сжималась в направлении, перпендикулярном хребту.

В восточной части Анд сжатие коры продолжается и в настоящее время. Сейсмограммы, проанализированные Д. Чинном и Б. Айзексом из Корнеллского университета, Х. Суаресом из Мексиканского национального автономного университета и У. Штаудером из Сент-Луисского

университета, показывают, что на востоке Анд землетрясения происходят вдоль разрывов, по которым Бразильский материковый щит поддвигается под горное сооружение на западе. Скорость поддвигания составляет, по-видимому, лишь несколько миллиметров в год, но в прошлом она, возможно, была выше. Я согласен с Х. Суаресом, Э. Лион-Кан и Б. Берчфилом из Массачусетского технологического института, что увеличение мощности коры под Восточной Кордильерой вызвано именно сжатием коры, а не магматизмом. По мере того как Анды выдавливаются вверх в результате поддвигания плиты Наска на восток и Бразильского щита на запад, кора становится толще.

Опускание гор

Подъемная сила корней коры поддерживает горы, однако и горизонтальные силы, которые способствовали образованию корней, принимают в этом непосредственное участие. Судя по всему, они помогают поддерживать Анды и предотвращают расползание и обрушение хребта. Любопытно, что эта точка зрения частично опирается на наблюдения за оседани-

ем опор строительных конструкций. Несмотря на то что с боков хребта кора сжимается, в некоторых высокогорных районах Анд она расползается. Хорошим примером этого может служить Кордильера-Бланка — западная горная цепь, к которой относится вершина Уаскаран, самая высокая на территории Перу. Эта горная цепь ограничена с запада крутым разломом, протянувшимся параллельно хребту; к западу от разлома кора опускается и движется от гор. Такой разлом, по которому один блок опускается относительно другого, называют нормальным сбросом. Он ясно указывает на то, что кора расползается.

Приведенная мной в начале статьи аналогия между горным хребтом и готическим собором должна помочь уяснить значение нормальных сбросов для Анд. Вершины Анд и высокогорные плато — «крыша» Западного полушария — подобны сводчатому потолку собора. Своды давят на стены, стремясь вытолкнуть их наружу. (В соборе боковое давление обусловлено не только силой тяжести, но и давлением ветра.) Для того чтобы не обрушился потолок, в соборах, возводились гигантские арочные контр-

форсы, которые противостояли направленным наружу силам, действующим на стены. Другой способ решения этой проблемы, который, возможно, предпочли бы современные архитекторы, — просто натянуть между противоположными стенами стальные тросы; прочность тросов на разрыв должна быть достаточной, чтобы удерживать стены вместе.

В некотором смысле плиту Наска и Бразильский щит можно считать арочными контрфорсами Анд. Их горизонтальное давление на стороны хребта дает вклад в силы, поддерживающие высокие пики и плато. Что заставляет предположить присутствие нормальных сбросов в высоких Андах? То, что горизонтальные силы, поддерживающие горы, недостаточно велики, а породы, которыми сложены горы, недостаточно прочны, чтобы сыграть роль стальных тросов и удержать горы вместе. Хотя на восточной окраине гор кора все еще испытывает сжатие, в высоких Андах она расползается: крыша становится ниже. Хребет в целом может вступить в стадию упадка, что в конце концов приведет его к полному разрушению под действием собственного веса.



НАКЛОНЕННЫЕ И СМЯТЫЕ В СКЛАДКИ осадочные породы в высокогорном плато Анд свидетельствуют о том, что плато сформировалось в результате горизонтального сжатия коры. Смятые в складки известняки, песчаники и гли-

нистые сланцы испытывали сжатие в широтном направлении. В отдаленных снежных вершинах части Западной Кордильеры породы также смяты в складки. (Вид на юго-восток с восточного склона хребта Кордильера-Бланка.)

Если Анды разрушатся, они, вероятно, не будут первыми горами, которые постигла такая участь. Многие исследователи, и я в том числе, считают Анды аналогом того горного хребта, который был самым высоким на западе территории США 80—30 млн. лет назад, т. е. именно в то время, когда дальше к востоку формировались Скалистые горы. В ту пору литосферная плита под восточной частью Тихого океана сближалась с Североамериканской плитой и океаническая литосфера поддвигалась под континент точно так же, как в настоящее время плита Наска поддвигается под Южную Америку. Примерно 30—10 млн. лет назад поддвигание под Северную Америку прекратилось. Поскольку плиты перестали сближаться, горизонтальные силы, которые сжимали кору в латеральном направлении и делали ее толще под горным хребтом, должны были уменьшиться или даже исчезнуть.

Когда так, наконец, случилось, кора, вероятно, начала расползаться. Многочисленные признаки этого процесса можно увидеть в провинции Бассейнов и Хребтов к западу от Скалистых гор, между центральной частью шт. Юта и горами Сьерра-Невада: чередующиеся впадины и наклоненные хребты ограничиваются нормальными сбросами, такими, как на западе хребта Кордильера-Бланка. По мере того как кора расползалась, блоки коры опускались по нормальным сбросам; при этом формировались впадины. (Одна из таких впадин — Долина Смерти, которая в настоящее время находится ниже уровня моря, но когда-то, возможно, располагалась на высоте нескольких километров.) Согласно этой точке зрения, провинция Бассейнов и Хребтов представляет собой остатки обширной горной цепи и высокогорного плато, которые обрушились после того, как прекратили действовать горизонтальные силы, поддерживавшие эту горную цепь. Возможно, когда-нибудь и Анды будут похожи на провинцию Бассейнов и Хребтов.

Вероятно, разрушается также и Тибет. Хотя давление, которое в результате движения Индийской плиты действует на остальную Азию, по-видимому, достаточно велико для того, чтобы предотвратить расползание Тибета в меридиональном направлении, с востока у высокогорного плато подобной опоры нет. Здесь плато окаймляется нормальными сбросами северного простирания, у которых одно крыло смещается вниз и в сторону от другого крыла. Тибет расползается к востоку, отталкивая при этом участок коры, где располо-



НОРМАЛЬНЫЕ СБРОСЫ обусловили формирование крутого западного склона хребта Кордильера-Бланка. Пик слева, Уандой, имеет высоту 6356 м. Уступ, проходящий вдоль основания горной цепи и пересекающий моренные отложения, оставленные отступающими ледниками, — это активный нормальный сброс. По нему и параллельным ему сбросам долина на переднем плане опустилась относительно гор на несколько километров. По-видимому, хребет разрушается по мере того, как расползается кора.

жен юго-восточный Китай, на восток по отношению к остальной Азии.

Почему Анды и Тибет особенно поддаются разрушению? Именно потому, что они поддерживаются в основном глубокими корнями коры. Прочность кристаллических пород быстро уменьшается с увеличением температуры (и, следовательно, глубины), причем, вероятно, быстрее, чем прочность мантийного вещества. Поэтому мощная кора имеет тенденцию ослабляться. Более того, по неизвестным причинам кора и верхняя мантия под Тибетом и Андами являются, по-видимому, относительно разогретыми, так что граница между холодной литосферой и теплой астеносферой, возможно, находится фактически в пределах коры, а не значи-

тельно ниже нее, как в большинстве регионов. В результате корни Тибета и Анд, вероятно, ослаблены и очень пластичны, а из-за того, что эти горы не поддерживаются горизонтальными силами, они и стремятся расползаться. Именно горизонтальные силы заставляют корни гор быть глубокими, а горы — высокими. П. Таппонье из Парижского университета и я высказали предположение, что высокогорные плато можно рассматривать как «приборы» для измерения давления: чем больше горизонтальное сжатие, тем выше плато. Возможно, что в Тибете и Андах горизонтальное давление стало падать.

Что касается Гималаев, Альп и Скалистых гор, то они поддерживаются главным образом прочной,

мошной литосферой, образованной сравнительно холодной корой и мантией. (Под Гималаями, например, кора холоднее, чем под Тибетом, так как под нее поддвигается холодная Индийская плита.) Хотя эти хребты сформировались под действием горизонтальных сил, у них нет необходимого упора в горизонтальном направлении, чтобы сохранить свое положение. Судя по тому, что в них в общем отсутствуют нормальные сбросы, сейчас они, по-видимому, не испытывают обрушения.

Динамика

Одни горные хребты можно сравнить с приборами для измерения горизонтального сжатия, а другие — с упругой пластиной под нагрузкой. Я должен подчеркнуть, впрочем, упрощенный характер этих аналогий. Карнер и Уоттс показали, например, что вес Альп недостаточно велик для того, чтобы Европейская плита прогнулась так сильно, как она прогибается под Молассовой впадиной; вероятно, ее тянет вниз еще какая-то сила. Лион-Кан и я установили, что в отличие от этого высокая прочность Индийской плиты не объясняет полностью большой высоты Гималаев; по-видимому, северный край плиты изгибается вверх дополнительная сила. Выдавливается вверх также Гавайи. Глубина океана на большой площади вокруг островов вне Гавайского рва составляет лишь около 4500 м, а примерно в 1000 км к северу и югу — около 5500 м.

Эти отклонения свидетельствуют о том, что простая модель плиты, прогибающейся под тяжестью гор, несовершенна. В ней не учитывается динамика плит, т. е. влияние тех сил, которые сдвигают континенты вместе, сжимают кору и заставляют гигантские массивы надвигаться на края жестких плит. Движение плит, как считают многие, — это проявление у поверхности Земли конвективной циркуляции, которая распространяется глубоко в мантию.

Общая картина такой циркуляции еще не известна. Тем не менее некоторые выводы относительно ее особенностей можно сделать. Например, Гавайские острова определенно лежат над той областью астеносферы, где горячее вещество поднимается вверх. Часть его извергается из вулканов на островах, но весь столб поднимающегося вещества гораздо шире самих островов. Направленное вверх движение горячего вещества объясняет обширное поднятие океанского дна вокруг Гавайских островов.

Можно ожидать, что под другими

горными хребтами будет обнаружено движение вниз холодного вещества. Под Гималаями Индийская плита, с которой были содраны пластины коры, образовавшие горы, вероятно, погружается в астеносферу. В верхней части плиты вещество значительно более холодное, чем вещество астеносферы, а следовательно, имеет большую плотность и поэтому должно тонуть. Тяжесть опускающегося вещества, видимо, способствует движению плиты вниз. В то же время, как показали Лион-Кан и я, часть плиты, расположенная непосредственно за ее ведущим краем, должна изгибаться вверх, содействуя тем самым воздыманию гор. (Чтобы представить себе это явление, возьмите пластмассовую или металлическую линейку и изогните ее, уперев один конец в край стола.) Погружающийся материал, возможно, приводит в действие и циркуляцию в мантии, что тоже способствует столкновению Индийской и Евразийской плит.

Измерения силы тяжести

Как получить сведения о динамике процессов в мантии, и, в частности, о том, погружается ли плотное вещество под горными хребтами? Один способ состоит в измерении вариаций гравитационного поля Земли; напряженность этого поля должна быть немного выше над теми регионами, которые подстилаются плотным веществом. К сожалению, различия в силе тяжести, обусловленные изменениями плотности в мантии, невелики — вероятно, меньше 0,01% от среднего значения, равного 9,8 м/с². В горных районах они незаметны на фоне гораздо более крупных аномалий, обусловленных рельефом. Для того чтобы внести поправку на рельеф, необходимо иметь чрезвычайно точные карты, которых для таких районов, как Гималаи, просто нет.

Вероятно, эту проблему можно решить, измеряя силу тяжести со спутников. Спутник движется на большой высоте, где влияние долин и хребтов на гравитационное поле практически отсутствует, но его орбита испытывает слабые возмущения вследствие вариаций плотности в мантии. Прослеживая эти возмущения, можно составить карту гравитационного поля и изменений плотности. До сих пор были построены лишь карты крупных, шириной в тысячи километров, гравитационных аномалий, не связанных с горными хребтами. Если усовершенствовать методы слежения за спутниками или установить на спутниках новые приборы, которые непо-

средственно измеряли бы изменения силы тяжести в латеральном направлении, станет возможным регистрировать более мелкие аномалии, обусловленные изменениями плотности под горными хребтами.

Имея такие данные, можно сделать существенный шаг к созданию представления о горах не как о статических структурах, а как о динамических элементах развивающейся Земли. Более глубокое понимание динамики горных хребтов, несомненно, заставит пересмотреть некоторые простые концепции, которые я здесь изложил, а до тех пор геофизики, зачарованные архитектурой гор, будут пребывать в том же положении, что и строители готических соборов, которые додумались до того, что гигантские строения можно поддерживать с помощью арочных контрфорсов, не понимая по-настоящему физических принципов, лежащих в основе этого решения.

Издательство МИР предлагает:

ГОРМОНАЛЬНАЯ РЕГУЛЯЦИЯ РАЗМНОЖЕНИЯ У МЛЕКОПИТАЮЩИХ

Под редакцией
С. Остина, Р. Шорта
Перевод с английского

В книге на современном уровне описана гормональная регуляция функции половых желез, а также процессов беременности и лактации. Книгу отличает полнота охвата материала, сравнительный биологический подход, живой стиль изложения, обилие хороших схем и рисунков.

Содержание: Гипоталамус и передняя доля гипофиза; структура и функции. Гормоны задней доли гипофиза. Гормоны эпифиза. Структура и функции семенников, нарушения функции семенников у мужчин. Морфология и функции яичников человека и животных. Эструс и менструальный цикл. Эндокринология беременности. Лактация.

Для физиологов, зоологов, врачей — эндокринологов и гинекологов, а также для студентов, биологов и медиков.

1987, 20 л. Цена 1 р. 80 к.



Кризис в американской науке

ОБРАЩЕНИЯ к конгрессу США и администрации правительства по поводу ухудшения положения в американской науке и технике в последнее время приобрели тон настоятельных требований. Члены Научного совета при Белом доме заявили, что «лидирующее положение, которое США сейчас занимают в науке и технике, находится под угрозой» в связи с недостаточным количеством ученых и студентов в ведущих областях и наличием устаревшего оборудования. Национальный научный совет указал на «серьезные недостатки» в подготовке научных и инженерных кадров в высших учебных заведениях. Комиссия Национального совета по научным исследованиям заявила, что вскоре США могут испытывать недостаток физиков, и это в то время, когда «в каждой области нужно искать пути для существенного продвижения вперед».

Официальные представители Белого дома указывают, что в течение последних 6 лет доля федеральных ассигнований на научные исследования, проводимые в университетах, в валовом национальном продукте постоянно снижалась. По их мнению, объем выделяемых на эти цели средств должен быть увеличен. Другие рекомендации включали необходимость поощрения заслуженных ученых, чтобы вдохновить талантливых студентов на изучение математики, техники и естественных наук, создание правительства научных центров при университетах для проведения в них широкомасштабных исследований, а также образование специального фонда, который Национальный научный фонд мог бы использовать для оказания помощи университетам в перестройке их инфраструктур, ремонте ветхих зданий и замене устаревшего оборудования.

Национальный научный совет, который руководит деятельностью Национального научного фонда, сформулировал основные проблемы, стоящие перед высшим образованием в области подготовки ученых по естественным наукам, математикой и инженерам. Было отмечено, в частности, что практические занятия в лабораториях неэффективны и проводятся на старом оборудовании, преподавательский состав не имеет условий для повышения квалификации, а учебные программы не отвечают современному уровню развития науки и техники.

Совет настаивает на том, чтобы Национальный научный фонд до 1989 финансового года израсходовал 100 млн. долл. на мероприятия, связанные с решением указанных проблем.

Комиссия Национального совета по научным исследованиям, которая является исполнительным органом Национальной академии наук и Национальной академии по техническим проблемам, считает, что исследования в области физики находятся под угрозой, потому что многие преподаватели физики имеют предпенсионный возраст, а тех, кто мог бы прийти им на смену, становится все меньше. Как следует из данных, представленных комиссией, число аспирантов, получивших докторскую степень в области физики, снизилось с 1500 в 1970 г. до 900 в текущем году. К тому же доля американцев среди них постоянно падает. Следует добавить, что все большее число студентов выражают желание работать в промышленных корпорациях, а не заниматься теоретическими исследованиями в научных лабораториях. Эти тенденции, как считают члены комиссии, могут привести к серьезным неблагоприятным последствиям не только в экономике, но и в национальной обороне, поскольку успешное развитие и той и другой области во многом определяется прогрессом в науке и технике.

Как перевести биологические часы

ВСЕМ, КТО когда-либо, путешествуя, пересекал два или более временных пояса, хорошо знакома дезориентация во времени. И многие, не в силах уснуть даже глубокой ночью, мечтали о таблетках, которые позволяли бы быстро и безболезненно приспособиться к местному времени. Недавно эта мечта путешественников приблизилась к своему воплощению. Ф. Тюрек и С. Лози-Ольсон из Северо-Западного университета (США) обнаружили, что внутренние часы можно переводить с помощью некоторых вполне обычных лекарственных препаратов.

Эти исследователи изучали действие препарата, известного под названием триазамам, на золотистых хомячков. Триазамам применяется при бессоннице. Это соединение принадлежит к семейству бензодиазепинов, к которому относится, в частности, такой популярный транквилизатор, как

диазепам (седуксен). Считается, что эффект бензодиазепинов связан с тем, что они усиливают действие одного из нейромедиаторов в центральной нервной системе, а именно γ -аминомасляной кислоты (ГАМК). Нервные клетки, содержащие ГАМК, имеются в супрахиазматических ядрах — парных структурах гипоталамуса, которые, вероятно, составляют основу центрального пейсмекера (т. е. механизма, отсчитывающего время) у млекопитающих.

Золотистый хомячок — очень удобный объект для изучения циркадианных (околосуточных) ритмов, поскольку поведение животных этого вида в неволе отличается удивительной регулярностью. Так, если в клетке установлено колесо наподобие «белчьего», золотистые хомячки начинают свою непрерывную беготню в нем точно в одно и то же время суток. Поэтому изменение времени начала двигательной активности может служить указанием на изменение внутренних ритмов. Тюрек и Лози-Ольсон в течение двух недель регистрировали дневную активность в группе хомячков и установили таким образом исходный цикл. Затем животным ввели триазамам; причем циркадианный цикл хомячка был разделен на 8 равных промежутков времени и каждому животному во взятой группе инъекция производилась один раз в один из этих восьми моментов.

Оказалось, что действие препарата сильно варьирует в зависимости от времени инъекции. Если триазамам вводили за 6 ч до обычного момента начала активности, циркадианный цикл сдвигался по фазе «вперед» приблизительно на 1,5 ч. Если же инъекцию делали через 6—9 ч после начала активности, наблюдалась, наоборот, задержка на 1 ч. Инъекции в другие моменты цикла приводили к меньшим сдвигам фазы циркадианного цикла.

Данные Тюрека и Лози-Ольсон опубликованы в журнале «Nature» с комментарием А. Уинфри из Калифорнийского университета в Сан-Диего. Уинфри пишет: «Потенциальная возможность практического применения результатов Тюрека и Лози-Ольсон связана с надеждой, что триазамам или подобное быстро действующее и быстро выводимое из организма вещество, не имеющее явных побочных эффектов, позволит быстро переводить внутренние часы у человека. Если это оправдается, то вскоре мы, отправляясь в путешествие, в котором придется пересекать более одного временного пояса в сутки, будем брать с собой специальные таблетки и расписание их приема».

Экзотические атомные ядра

Соотношение числа нейтронов и протонов в этих ядрах совсем иное, чем в ядрах тех атомов, которые встречаются в природе. Необычные свойства экзотических ядер дают возможность по-новому взглянуть на структуру и движение ядерного вещества

ДЖ. Х. ГАМИЛЬТОН, Й. А. МАРУН

КОГДА РАЗМЕРЫ исследуемого объекта меньше миллионной доли одной миллионной сантиметра, даже простейшие его свойства невозможно измерить непосредственно, а приходится определять по косвенным данным. Тем более удивительно, что свойства атомного ядра — сгустка протонов и нейтронов в центре атома — становятся известными все лучше. Например, довольно долго полагали, что все ядра имеют сферическую форму. Затем выяснилось, что некоторые ядра вытянуты (как мяч для регби). Теперь же оказывается, что сферическая форма ядра встречается редко: исследования, ставшие возможными благодаря появлению нового поколения ускорителей и детекторов частиц, показали, что ядра могут быть не только сферическими или вытянутыми, но также и сплюснутыми (как спортивный диск), трехосными (похожими на плохо надутый мяч для регби) или октаэдрическими (похожими на грушу). Игра деформаций может придать ядру форму арахисового ореха или сделать его похожим на мяч для регби с выпуклостью по диаметру. А некоторые недавно открытые ядра имеют такую большую деформацию, которая раньше для стабильных ядер считалась невозможной. Кроме того, наперекор идеям, господствовавшим еще лет десять назад, оказалось, что некоторые ядра могут иметь не одну, а несколько форм.

Многие из этих новых сведений были получены при изучении экзотических атомных ядер в условиях, весьма далеких от тех, в которых находятся стабильные ядра в природе. Экзотическим мы называем такое ядро, в котором полное число нейтронов или протонов заметно отличается от ядер атомов, которые содержатся в земной коре. Например, во время наших экспериментов в Ок-Риджской нацио-

нальной лаборатории был открыт изотоп таллия-184. Подобно всем другим атомам таллия его ядро включает 81 протон. (Число протонов во всех изотопах данного химического элемента одинаково.) Но таллий-184 имеет только 103 нейтрона, или на 19 нейтронов меньше, чем самый легкий изотоп таллия, найденный когда-либо на Земле. (Число нейтронов меняется от одного изотопа данного элемента к другому.)

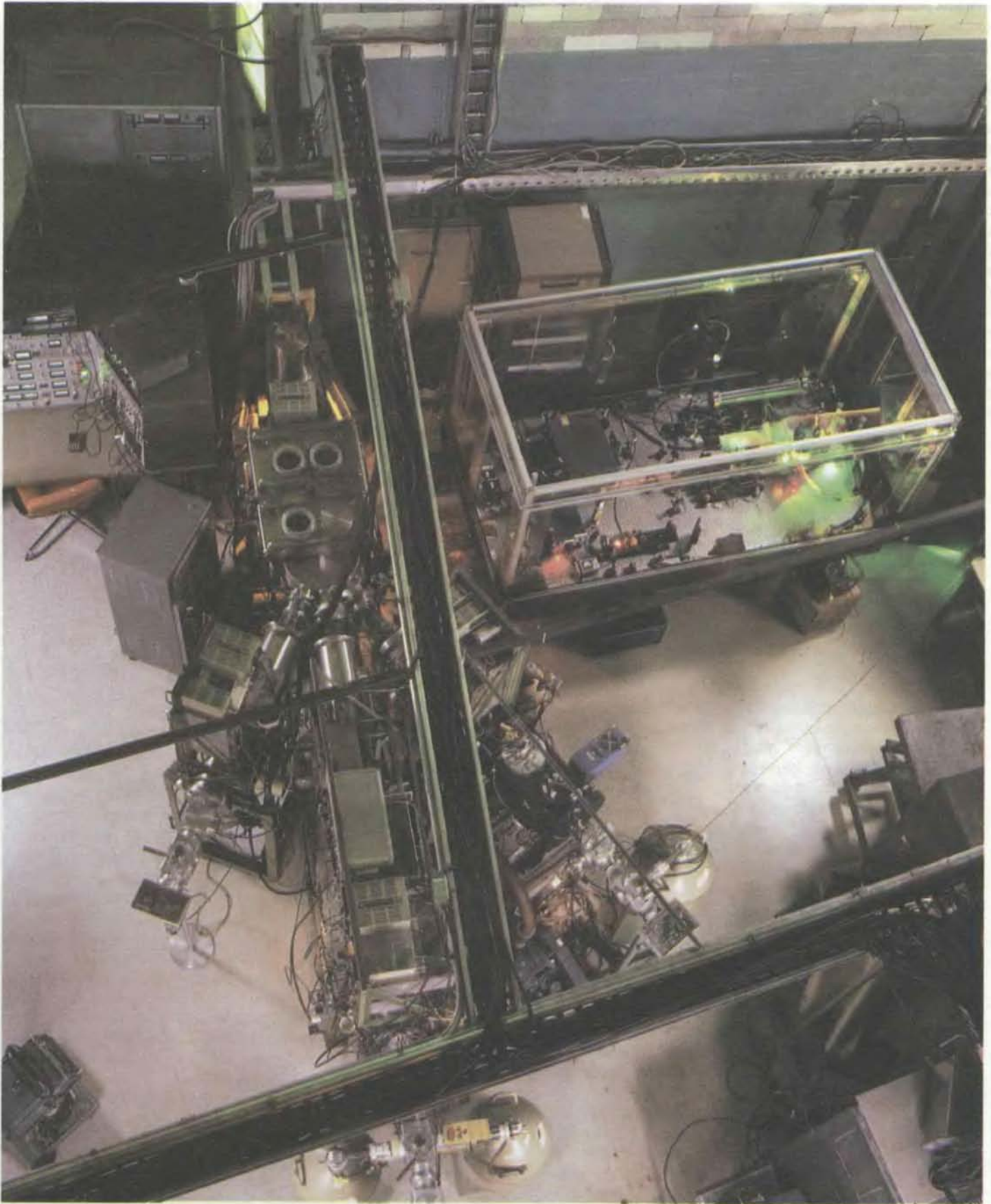
Как изучение экзотических атомных ядер изменило наши представления о том, что можно было бы назвать картой ядер? Например, были установлены новые «магические числа». Ранее известные магические числа представляли собой числа протонов или нейтронов, при которых сферическое ядро становится особенно устойчивым к изменениям таких его свойств, как форма. Новые магические числа заметно расширили список старых и похожая повышенная стабильность была найдена у деформированных ядер. Иногда возникает «конкуренция» магического числа (например, 40), при котором повышенную стабильность имеет сферическая форма ядра, с соседним (в данном случае — 38), при котором особенно устойчиво деформированное ядро. Более того, в определенных экзотических ядрах числа и протонов и нейтронов близки к магическим для деформированных ядер. Тогда их влияние резко усиливается. В результате возникает супердеформированное ядро, имеющее в основном состоянии (т. е. в состоянии с самой низкой энергией) наибольшую из когда-либо наблюдавшихся у атомных ядер деформаций.

Изучение экзотических атомных ядер привело к открытию экзотических типов радиоактивного распада. При уже известных альфа-, бета- и гамма-распадах радиоактивные ядра

излучают соответственно альфа-частицы (два нейтрона и два протона, образующие ядро гелия-4), бета-частицы (электрон или позитрон) и гамма-лучи (фотоны высоких энергий, или кванты электромагнитного излучения). Вновь открытые экзотические типы распада начинаются с бета-излучения, вслед за которым ядро испускает один или два протона, один, два или три нейтрона или даже ядро водорода-3, состоящее из одного протона и двух нейтронов. Во время других, еще более экзотических распадов ядро испускает группу из восьми нейтронов и шести протонов (ядро углерода-14) или 14 нейтронов и 10 протонов (ядро неона-24). Распады с вылетом кластеров из нескольких нуклонов (т. е. протонов и нейтронов) — это ключ к пониманию того, как скоординировано движение нуклонов внутри ядра.

ЗНАЧЕНИЕ исследований экзотических атомных ядер легче представить, рассматривая их как продолжение и расширение исследований ядер, существующих в природе. История этих исследований охватывает менее 80 лет; еще в конце XIX в. о существовании ядра не знали и атом считался мельчайшей неделимой частицей вещества. В 1896 г. была открыта радиоактивность. В сущности, альфа-, бета- и гамма-лучи, испускаемые некоторыми атомами, были посланцами, принесшими первые вести о существовании неизвестного тогда еще мира — ядра атома. Прошло еще 14 лет, прежде чем Эрнст Резерфорд установил, что весь положительный электрический заряд и почти вся масса атома содержатся в его ядре, которое меньше самого атома в 100 000 раз и расположено в его центре.

Последующие 30 лет принесли мало нового. Ученые представляли ядро в виде круглой жидкой капли, которая



СЕПАРАТОР ИЗОТОПОВ, работающий в режиме «on-line» на установке по изучению тяжелых ионов в Ок-Риджской национальной лаборатории (шт. Теннесси), для исследования экзотических атомных ядер. Экзотические ядра возникают (за бетонной защитой) в столкновениях тяжелых ионов с ядрами атомов мишени (как правило, это металлическая фольга). Набор магнитов распределяет экзотические ядра по «струям», каждая из которых состоит из ядер определенной массы. Струя может быть направлена в

один из трех расходящихся каналов. Канал справа облучается лазером, излучение которого возбуждает электроны, вращающиеся вокруг каждого экзотического ядра. Электроны взаимодействуют с ядром; полученные данные позволяют определить средний радиус ядра — главную характеристику его формы. Лазерный луч формируется системой из двух лазеров, установленных на специальной платформе.

может вибрировать или которую можно разбить на несколько меньших капель. Затем появились две модели, в которых ядро рассматривается на более глубоком структурном уровне. Первая из них — сферическая оболочечная модель атомного ядра — была предложена в 1949 г. Марией Гепперт-Майер, работавшей в Аргоннской национальной лаборатории и Чикагском университете, и Й. Йенсеном из Гейдельбергского университета. Идея состояла в том, чтобы применить для анализа движения нуклонов в ядре те же принципы квантовой механики, которые раньше были применены к вращающимся вокруг ядра электронам. В частности, квантовая механика требует, чтобы нейтроны и протоны, удерживающиеся в ядре, находились в дискретных состояниях,

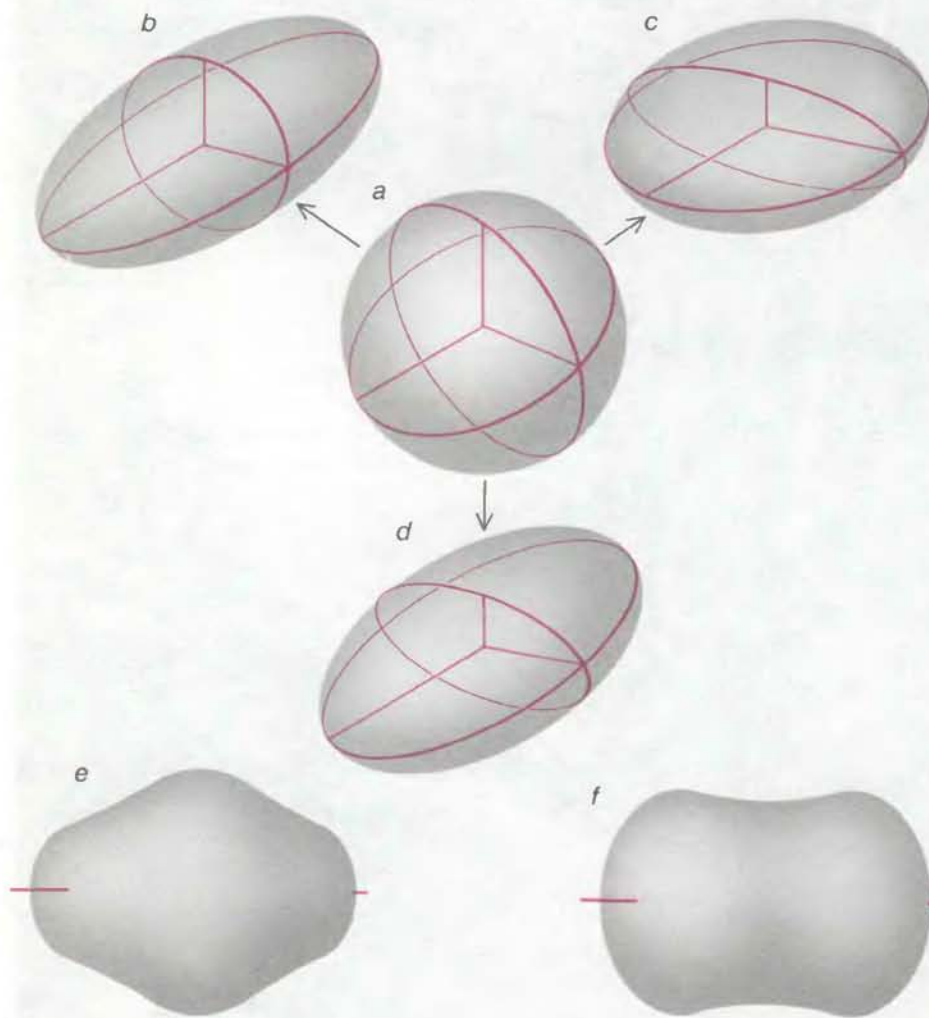
каждому из которых соответствует определенная энергия и движение нуклонов определенного типа. Однако закон квантовой механики, который называется принципом исключения (принципом Паули) утверждает, что в ядре нейтрон не может находиться в состоянии, уже занятом другим нейтроном, а протон — в состоянии, уже занятом другим протоном. В результате ядро строится путем последовательного заполнения состояний нейтронами и последовательного заполнения состояний протонами, причем в каждом случае заполнение начинается с состояния с наименьшей энергией.

Ядерные состояния имеют тенденцию образовывать группы, так что состояние с наиболее высокой энергией из одной такой группы (оболочки) отделено большой энергетической

щелью от состояния с наименьшей энергией из следующей, более высоко расположенной оболочки. Здесь аналогия между нуклонами в ядре и электронами, вращающимися вокруг ядра, становится особенно отчетливой. Заполнение атомных электронных оболочек приводит к появлению инертных химических элементов: гелия, неона, аргона и т.д. В ядрах ситуация во многом похожая: в соответствии со сферической оболочечной моделью заполнение ядерных оболочек приводит к ядру с «жесткой» сферической формой, которую трудно изменить. Таким образом, в рамках этой модели возникают магические числа 2, 8, 20, 28, 40, 50, 82, 126 и 184. В ядерной физике принято считать, что эти числа указывают на сферические ядра, которые имеют замкнутые оболочки нейтронов или протонов.

Согласно сферической оболочечной модели, существует несколько типов ядер. Ядра, у которых оказалось два магических числа (например, кислород-16, состоящий из восьми нейтронов и восьми протонов, или свинец-208 с 82 протонами и 126 нейтронами), имеют особенно устойчивые свойства, в том числе устойчивую сферическую форму. Это — сферические дважды-магические ядра. Ядра, у которых только одно число магическое и которые поэтому имеют одну замкнутую оболочку (нейтронную или протонную), также выигрывают в своей стабильности и имеют почти сферическую форму. То же можно сказать о ядрах, в которых число протонов и нейтронов лишь на несколько единиц отличается от магического. Наоборот, среди деформированных ядер самые «жесткие» (т. е. обладающие самыми стабильными характеристиками) — это те, которые более других «удалены» от магических чисел для сферических ядер. Их оболочки заполнены наполовину как для нейтронов, так и для протонов. «Мягкие», слабо деформированные ядра расположены в периодической таблице между сферическими и деформированными ядрами.

Второй известной моделью, в которой также рассматривается форма и структура атомного ядра, была коллективная модель ядерной деформации, предложенная в 1952 г. Оге Бром и Бенот Моттельсоном из Института Нильса Бора в Копенгагене. Она представляет собой приложение принципов квантовой механики к ранее существовавшим представлениям о ядре, как о похожей на жидкость капельке ядерного вещества. В коллективной модели предполагается, что капелька может иметь любую форму, затем в рамках квантовой механики



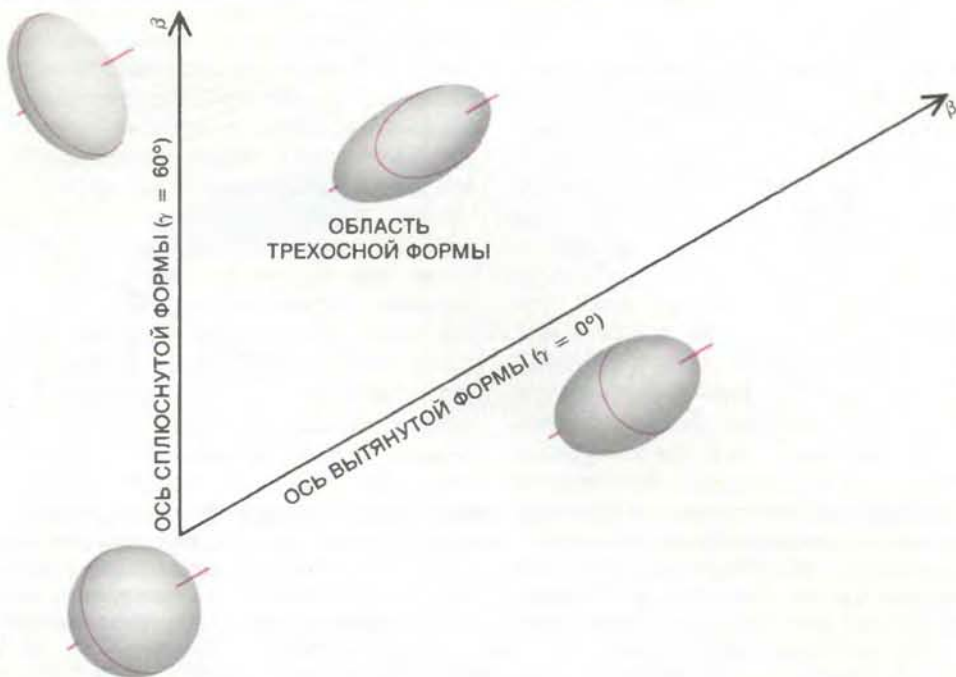
РАЗНООБРАЗИЕ ФОРМ атомных ядер гораздо шире, чем казалось ранее. Любую форму сфероида (вверху) можно описать заданием длин трех его взаимоперпендикулярных осей (цветные линии). У сферического ядра (а) все оси равны. У вытянутого сфероида, или ядра, напоминающего по форме мяч для регби (b), одна ось длиннее двух других одинаковых осей. У сплюснутого сфероида, или ядра, имеющего форму диска (c), одна ось короче двух других одинаковых осей. У трехосного ядра (d) все оси разные. Форму некоторых ядер усложняет деформация более высокого порядка. Для примера показаны формы ядер урана-234 (e) и гафния-180 (f) в основных состояниях (с наименьшей энергией).

рассчитывают энергию каждой формы и ее изменения при отклонении от этой формы. Оказывается, что в некоторых ядрах минимум энергии соответствует определенной деформации, и энергия резко возрастает при ее изменениях. Такие ядра являются жесткими и деформированными. В других ядрах энергия мало меняется с деформацией — это мягкие ядра.

Создание теоретиками моделей атомного ядра дополнялось экспериментальными исследованиями. Один из способов изучения ядра состоит в регистрации энергии гамма-лучей и других частиц, испускаемых ядрами в возбужденных состояниях. Атомное ядро поглощает или излучает энергию только квантами, или дискретными порциями. Каждый акт поглощения энергии означает переход ядра в состояние с большей энергией, а каждый акт испускания энергии — в состояние с меньшей энергией. В каждом состоянии ядро имеет определенную энергию и угловой момент. Кроме того, оно имеет определенную форму и характеризуется движением нуклонов определенного типа — вращением или колебанием. Из полученных данных определяют энергетические уровни ядра. Построенная в результате диаграмма энергетических уровней представляет собой как бы стенографическую запись того, что, согласно законам природы, может происходить в ядре.

НЕЛЬЗЯ сказать, что такие эксперименты просты. К концу 60-х годов теоретически было предсказано существование более 5000 ядер, а идентифицировано было меньше 1600 и менее 400 из них были изучены достаточно хорошо, т. е. так, чтобы несколько из их низкоэнергетических уровней были известны. Проблема состоит в том, что нестабильные атомные ядра превращаются в ядра, которые более стабильны (т. е. распадаются медленнее). Для ядер, близких к стабильным, энергия, доступная для таких превращений, которые идут через бета-распад, меньше 1 млн. эВ (МэВ). Типичное время жизни такого ядра составляет несколько месяцев или лет. Для ядер, далеких от стабильных, энергия превращения составляет 5—10 МэВ и их время жизни — несколько секунд или даже меньше.

В конце 60-х годов изучение карты ядер потребовало перейти к исследованиям экзотических атомных ядер. Это было сложной проблемой. В каждом эксперименте большой объем данных (энергии сотен и даже тысяч гамма-лучей) должен был быть проанализирован в поисках нескольких



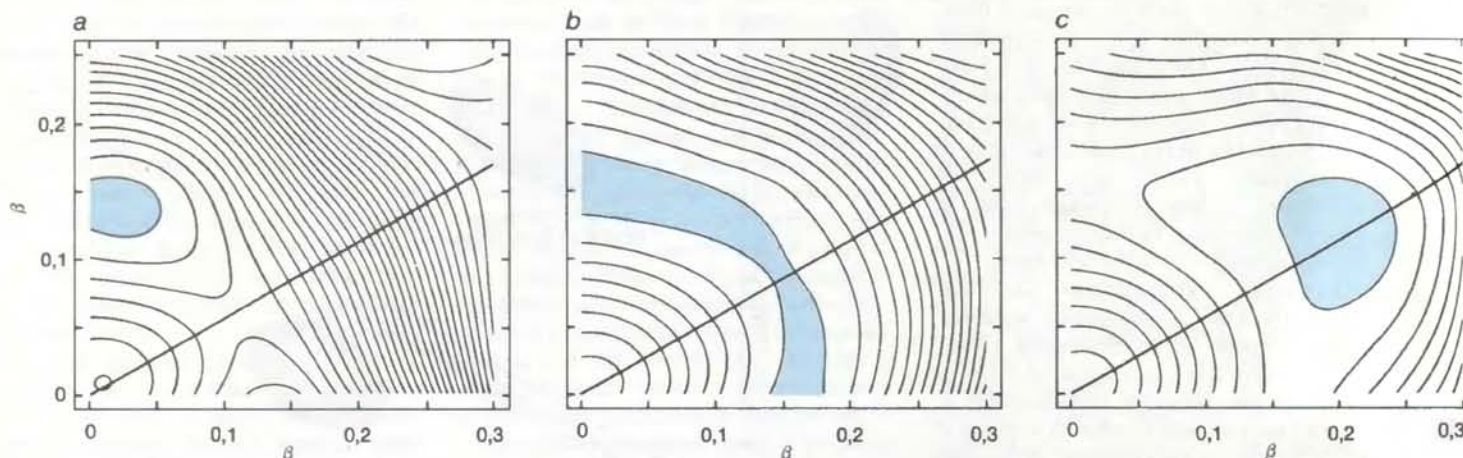
ПЛОСКОСТЬ β — γ позволяет математически представить весь диапазон форм сфероидальных ядер. Каждая точка на плоскости соответствует некоторым значениям β и γ , т. е. определенной деформации сферы. Параметр β , равный 0 или положительный, — мера деформации, при которой из сферы за счет удлинения одной из осей при одновременном укорочении других получается вытянутый сфероид. Параметр γ — угол, изменяющийся в пределах от 0 до 60°, определяет деформацию, при которой вытянутый сфероид становится трехосным за счет сплющивания его круглого поперечного сечения. При достаточно большой γ -деформации вытянутый сфероид превращается в сплюснутый.

ядерных переходов, которые и представляли собой «золотые самородки» новой информации. Кроме того, в каждом эксперименте данные должны были быть собраны очень быстро, иногда в течение нескольких сотых или даже тысячных долей секунды после того, как ядро родилось. Исследователи были полны желания разрешить эти проблемы. Ожидалось, что будут открыты новые области деформированных ядер и новые дважды-магические ядра, такие, как олово-100 (50 протонов и 50 нейтронов) или олово-132 (50 протонов и 82 нейтрона). Будут ли эти ядра сферическими и «жесткими»? Или магические числа сферических ядер, при которых заполняются ядерные оболочки, теряют свои магические свойства в областях периодической таблицы, удаленных от области стабильных ядер? Не другие ли здесь магические числа? Не встретится ли мы с новыми типами деформации ядер в этих областях?

Преодолеть экспериментальные трудности, связанные с получением и исследованием экзотических атомных ядер, стало возможным благодаря системе разделения изотопов, работающей в режиме «on-line». Она была названа ISOL (isotope separator on-line — сепаратор изотопов, работающий в режиме «on-line»). Мишень, обычно это металлическая фольга, с

одной стороны бомбардируется пучком частиц из ускорителя или ядерного реактора. Частицы сливаются с ядрами внутри мишени. На другой стороне от фольги, возникшие экзотические ядра, движущиеся от мишени, попадают в сильное магнитное поле. Так как ядра имеют электрический заряд, они отклоняются полем; величина отклонения зависит от их массы. В результате непрерывный поток экзотических, короткоживущих ядер делится на «струи», каждая из которых состоит из ядер определенной массы. Каждая струя все еще содержит несколько разновидностей ядер, объединенных тем, что все они имеют одинаковую сумму числа протонов Z и нейтронов N , равную массовому числу A . Тем не менее характеристические рентгеновские лучи, которые испускают ядра каждого химического элемента, вместе с другими типами распада позволяют идентифицировать каждое ядро.

Первые широкомасштабные эксперименты по изучению далеких от стабильности ядер с помощью системы ISOL были предприняты в конце 60-х годов в ЦЕРНе (Европейской организации ядерных исследований в Женеве) как совместная европейская программа, получившая название ISOLDE; при этом мишень бомбардировалась пучком протонов высокой



ПОВЕРХНОСТИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ, которые изображают энергию ядра как функцию его формы, рассчитываются в предположении, что оно может принимать любую форму. Наиболее устойчива форма, которой соответствует наименьшая энергия. Изображены поверхности потенциальной энергии для основных состояний изотопов платины — от стабильных до весьма экзотических и нестабильных. Последние содержат заметно меньше ней-

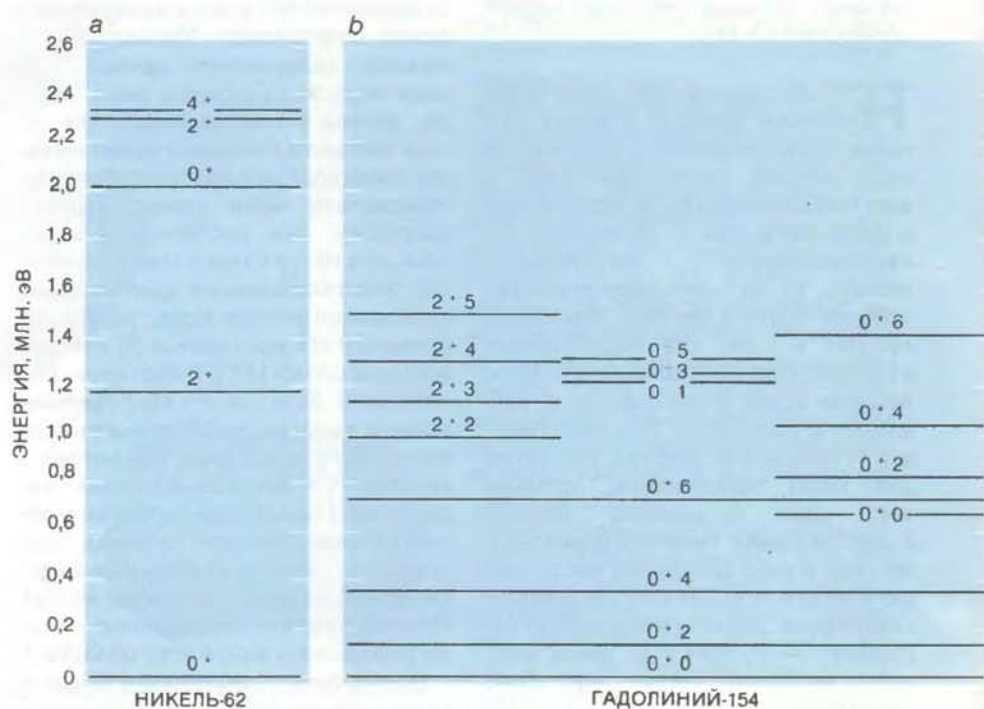
тронов, чем ядра платины, существующие в природе. Каждая карта построена по схеме, изображенной на предыдущем рисунке: параметр β возрастает при удалении от начала координат; линия, отвечающая $\gamma = 0^\circ$ — диагональ; линия, отвечающая $\gamma = 60^\circ$, — вертикальная ось. Ядро платины-192 (a), у которого минимум энергии (выделен цветом) расположен близко к вертикальной оси, — сплюснутый. Платина-188, (b), у которой минимум протянулся по

энергии. Затем в 1972 г. в Ок-Риджской национальной лаборатории начала действовать установка UNISOR. Этот проект — результат сотрудничества многих организаций под руководством Университета Вандербильта; в нем приняли участие исследователи от федерального правительства, правительства шт. Теннесси и ряда университетов. UNISOR — первый большой проект, в котором для изучения структуры далеких от стабильности ядер использовался пучок тяжелых ионов*. На установках ISOLDE и UNISOR проведены обширные систематические исследования, которые невозможно было бы провести в одном каком-нибудь институте.

ТЕПЕРЬ схемы энергетических уровней, которые известны и для стабильных и для экзотических ядер, понятию достаточно хорошо, чтобы по ним для вновь открытого экзотического ядра можно было установить, сферическое оно или деформированное или же ядро «многоликое», т. е. в одних состояниях имеет почти сферическую форму, а в других деформированную. Указания на сферическую форму ядра легко получить. Хорошим примером может служить ядро никеля-62 (см. рисунок внизу справа). Энергия, необходимая для того, чтобы никель-62 перевести из

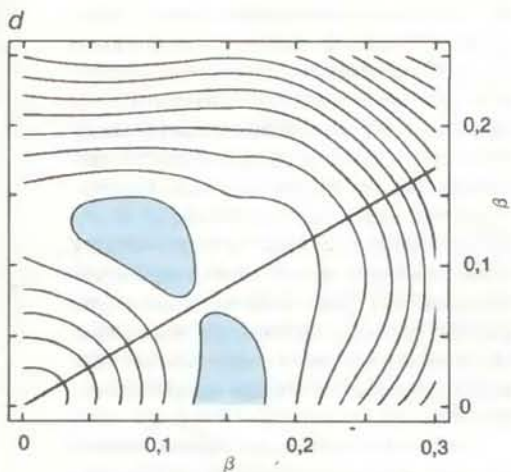
основного состояния в первое возбужденное, велика: 1,17 МэВ. Следовательно, будут возбуждаться скорее колебания, чем вращение. (Энергия, необходимая для возбуждения вращения ядра, как правило, меньше 0,2 МэВ). Именно отсутствие признаков вращательного движения указы-

вает на то, что ядро никеля-62 почти сферическое. Примечательно, что деформированные ядра могут вращаться, а сферические нет. Согласно представлениям квантовой механики, вращение ядра вокруг оси симметрии ненаблюдаемо, а у сферы каждая ось — это ось симметрии.



СХЕМЫ УРОВНЕЙ ЭНЕРГИИ ядер изображают квантованные порции энергии, которые поглощает или излучает ядро при переходе из одного состояния в другое. Каждая схема позволяет сделать заключения о форме ядра. Никель-62, стабильный изотоп (a), — почти сферическое ядро. Большой интервал между основным состоянием 0^+ и первым возбужденным состоянием, обозначенным 2^+ , указывает на то, что энергия идет на возбуждение колебаний сферы. Гадолиний-154, стабильный изотоп редкоземельного элемента (b), — деформированное ядро. Небольшой интервал между основным 0^+ и первым возбуж-

* Первый масс-сепаратор на пучке тяжелых ионов был создан в Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований в Дубне (СССР) в 1965 г. — Прим. пер.



всей области изменения параметра γ , — «мягкое» ядро, не способное сохранить постоянную форму. Платина-180 (с) с минимумом по обе стороны от линии, для которой $\gamma = 0$, — вытянутое ядро. Платина-176 (d) — трехосное ядро.

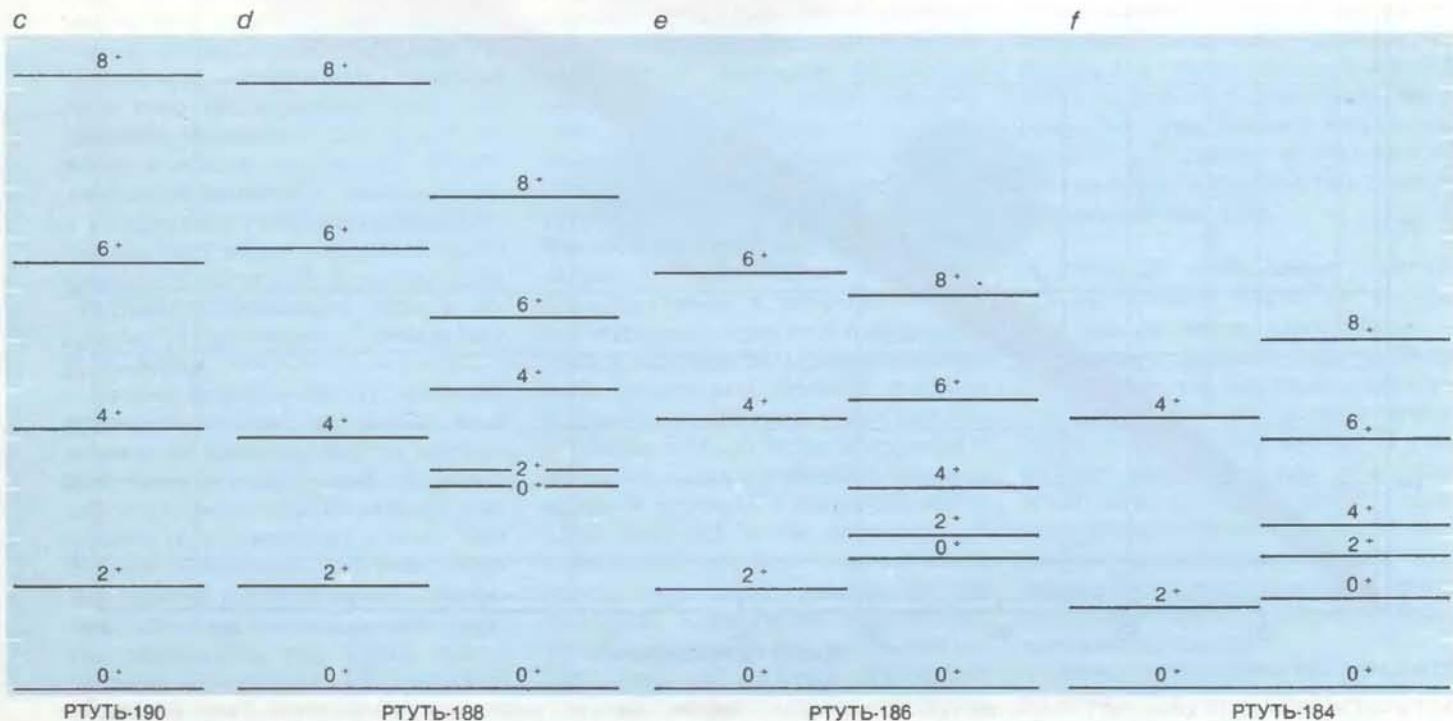
Схема энергетических уровней деформированного ядра гораздо сложнее, чем сферического, но она также имеет свои особенности. Типичным примером может служить схема уровней энергии стабильного ядра гадолиния-154. Энергетический интервал величиной только 0,123 МэВ отделяет

основное состояние этого ядра от первого из серии тесно расположенных возбужденных состояний, которые соответствуют все более быстрому вращению ядра, т. е. вращению со все большей энергией. Такое движение похоже на «кувыркание» мяча для регби. (Согласно квантовой механике, вытянутое ядро может «кувыркаться» вокруг короткой оси, но не может вращаться вокруг длинной оси, которая является его осью симметрии. Это как в регби, где мяч можно высоко подбросить, ударив ногой, но нельзя, закрутив, сделать пас вперед.) Схема уровней энергии гадолиния-154 завершается полосами колебательных возбуждений, каждое из которых комбинируется с вращением вокруг короткой оси.

СУЩЕСТВУЮТ также ядра, которые обладают недавно открытой способностью быть как бы «многоликими». Это явление называют «сосуществованием форм». Наиболее показательны в данном случае изотопы ртути. Стабильные или экзотические — все они имеют по 80 протонов, что только на 2 меньше магического числа 82. Поэтому можно ожидать, что все эти изотопы будут иметь редко расположенные энергетические уровни, характерные для ядер почти

сферической формы. И действительно, у изотопов ртути от 198 до 192 наблюдается именно такая картина. В начале 70-х годов единственным признаком необычного поведения изотопов ртути были данные, полученные в рамках программы ISOLDE Э. Оттен и его коллегами из Университета г. Майнца, которые указывали на различие свойств ртути-187 и ртути-185. Наши исследования, предпринятые в 1973 г. на установке UNISOR, начались с изотопа ртути-190. Этот изотоп также имеет редко расположенные уровни энергии. Но затем произошло нечто неожиданное. В экспериментах, проведенных в Лаборатории Лоуренса в Беркли, Ядерных лабораториях в Чок-Ривере (Канада) и на установке UNISOR, было обнаружено, что, в то время как энергия первого возбужденного уровня более легких экзотических изотопов ртути (188, 186, 184) указывает на близкую к сферической форму ядер, с более высокими уровнями происходят изменения, приближающие общую картину к характерной для деформированных ядер. Однако экспериментаторы из Беркли и Чок-Ривера измерили энергии лишь некоторых из возможных ядерных состояний.

Наши работы на установке UNISOR расширили схемы этих энер-



денным 0^+2 состояниями, указывает на то, что энергия идет на возбуждение вращения вытянутого сфероида вокруг короткой оси. Остальные состояния на схеме соответствуют колебаниям, которые накладываются на вращение. Изотопы ртути имеют разнообразные формы. У ртути-190 уровни расположены редко (с), что характеризует более или менее сферическое ядро. Напротив, все более экзотические изотопы ртути — 188 (d), 186 (e) и 184 (f) «двули-

ки»: на схемах представлены последовательности уровней, свидетельствующие о сферической форме (для каждого изотопа — слева) и ряд уровней, расположенных теснее и соответствующих вытянутой форме ядра. Числа у каждого уровня, — сокращенная запись, которую используют физики для квантованных значений характеристик ядра, таких, как спин.

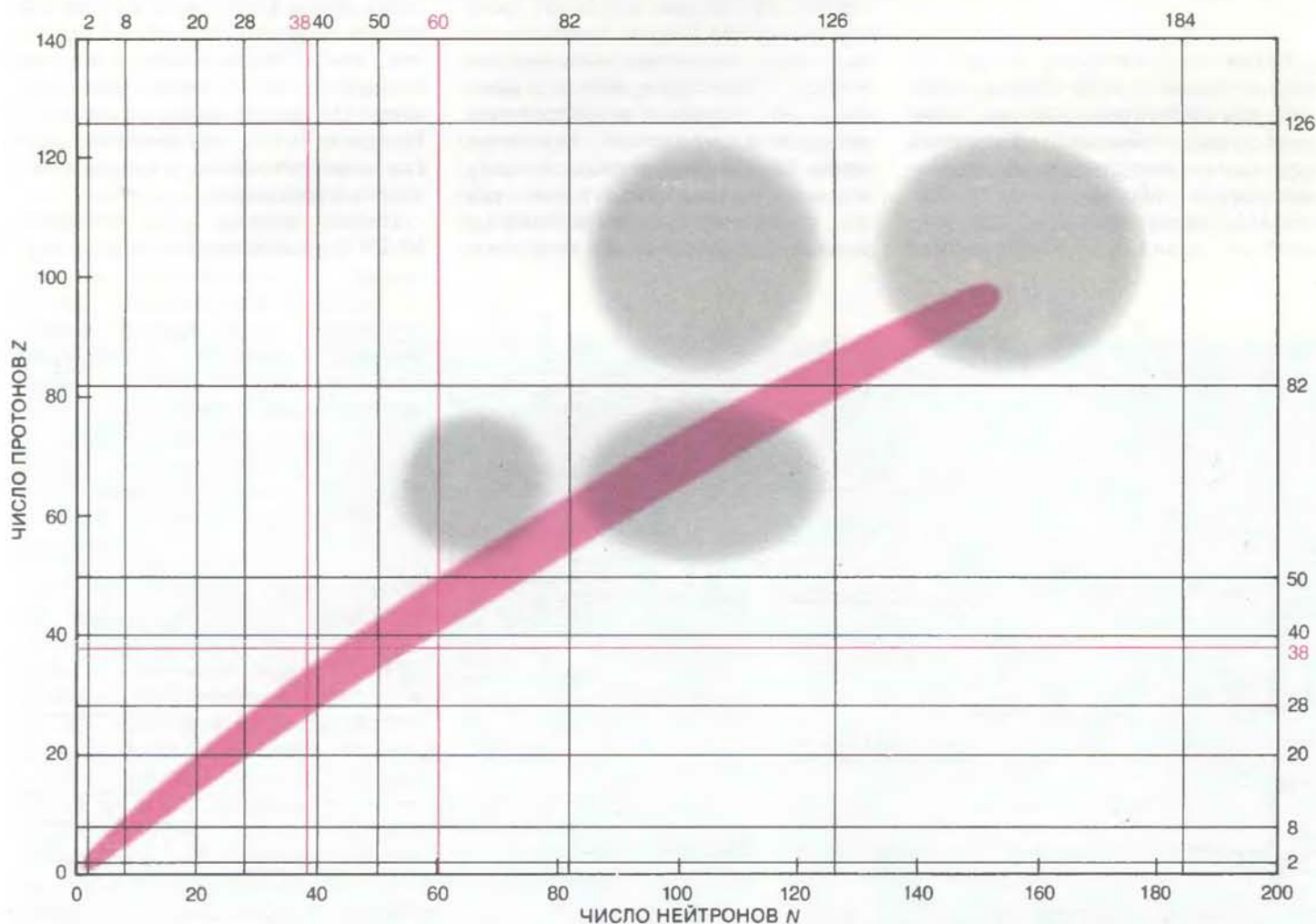
гетических уровней. Окончательные результаты показали, что в ядрах ртути-188, ртути-186 и ртути-184 при переходе от уровней, расположенных низко, к уровням, лежащим более высоко, происходит не просто смена одной жесткой формы ядра другой жесткой формой, совершенно отличной от первой, но каждое ядро ртути имеет как бы два «лица»: одно представлено последовательностью состояний, построенных на почти сферически-симметричном основном состоянии, другое — последовательностью состояний, в которой интервалы между уровнями постепенно увеличиваются, т. е. последовательностью колебательных и вращательных уровней, характерной для жесткого деформированного ядра. Какой-нибудь уровень из «сферической» по-

следовательности иногда оказывается очень близко к уровню из «деформированной» последовательности. Эти данные подтвердили теоретические предсказания, сделанные еще в 1953 г. о том, что в одном ядре могут существовать состояния, отвечающие разным его формам. Это предположение было высказано независимо Д. Хиллом из Университета Вандербильта, Дж. Уилером из Принстонского университета, В. Грайнером из Университета г. Франкфурта-на-Майне (ФРГ) и В. Г. Соловьевым из Объединенного института ядерных исследований в Дубне (СССР).

НАШЕ ОТКРЫТИЕ сосуществования форм в изотопах ртути было дополнено аналогичным открытием для изотопов селена-72 и селена-74. С

тех пор сосуществование форм обнаружено даже в ядрах с магическим числом протонов, таких, как олово-116 (50 протонов) и свинец-196 (82 протона). В настоящее время установлено, что сосуществование форм широко распространено для всех элементов периодической таблицы. Это явление перебрасывает мостик между сферическими и деформированными ядрами, которые раньше рассматривались как совершенно разные классы, что очень важно для создания единого способа описания ядерного вещества.

Как составная часть общих усилий по созданию такого подхода, был исследован статус магических чисел (т. е. статус оболочечной модели) в тех областях периодической таблицы, которые удалены от стабильных



МАГИЧЕСКИЕ ЧИСЛА означают числа нейтронов или протонов, при которых заполняются «оболочки» в ядре и сферическая форма ядра становится особенно устойчивой. Каждое магическое число для сферических ядер отмечено на схеме черной линией. По вертикальной оси отложено число протонов, по горизонтальной — нейтронов. Стабильные, существующие в природе ядра занимают область (показана цветом), протянувшуюся по диагонали схемы вверх от самого легкого ядра — водорода-1. Эта область включает некоторые «сферические дважды-магические

ядра», такие, как кислород-16 (8 протонов, 8 нейтронов). Ядра, в которых числа протонов и нейтронов сильно отличаются от магических, должны быть деформированными. В некоторых областях (серый цвет) такая деформация ядер обнаружена. Изучение экзотических ядер привело к обнаружению трех магических чисел для деформированных ядер (цветные линии). Новые магические числа придают особую устойчивость деформированным ядрам, а не сферическим.

ядер, распространенных в природе. В ядрах, у которых Z меньше 50, были обнаружены интересные явления. В этой области периодической таблицы нельзя найти ядро, которое не было близко хотя бы к одному из магических чисел 2, 8, 20, 28, 40 или 50. По этой причине наше открытие существования форм в селене-72 (34 протона, 38 нейтронов) и селене-74 (34 протона, 40 нейтронов) было совершенно неожиданным. Насколько же удивительным оказалось открытие экзотических ядер с числом как протонов, так и нейтронов, близким к магическому числу 40, которые в основном состоянии имели самую большую из когда-либо наблюдавшихся деформаций. Группа исследователей из Университета Вандербильта, Ок-Риджской лаборатории, Кельнского университета (ФРГ), Центрального института ядерных исследований в Росендорфе (вблизи Дрездена, ГДР) и Института современной физики в Ланчжоу (Китай) открыли два таких ядра: криптон-74 (36 протонов, 38 нейтронов) и криптон-76 (36 протонов, 40 нейтронов). Группа ISOLDE обнаружила третье такое ядро: стронций-100 (38 протонов, 62 нейтрона).

Есть по крайней мере два обстоятельства, оправдывающие использование для этих ядер названия «супердеформированные». Величину деформации ядра характеризуют параметром β , который приблизительно соответствует отношению разности длин короткой и длинной осей к их среднему значению. Ядра, форма которых близка к сферической, имеют небольшие значения β , например 0,1, в то время как типичные деформированные ядра характеризуются значениями β от 0,2 до 0,25. Величина β для супердеформированного ядра в основном состоянии составляет 0,35–0,40.

Второй довод в пользу «супердеформированности» указанных ядер основан на величине энергии первого возбужденного состояния, которое в деформированном ядре связано с вращением (как отмечалось выше). Чем больше деформация, тем ниже энергия первого возбужденного состояния. Если измеренные значения энергии пересчитать так, чтобы учесть различие масс разных ядер, то деформированные ядра актиноидов, у которых Z больше 90, будут иметь энергию первого уровня 43–45 кэВ (тысяч электронвольт). До открытия супердеформированных ядер самое низкое из известных для актиноидов значений (42,8 кэВ) имело ядро плутония-240 в первом возбужденном состоянии. У супердеформированного ядра

стронция-100 такая «пересчитанная» энергия первого уровня равна 30 кэВ, а у супердеформированного ядра криптона-74 — 28 кэВ.

ОДНОВРЕМЕННО с открытием супердеформированных ядер появились и теоретические расчеты, в которых предсказывалось их существование. В 1981 г. П. Мёллер из Лундского университета (Швеция) и Й. Никс из Лос-Аламосской национальной лаборатории рассчитали, какому пространственному распределению данного числа протонов и нейтронов соответствует минимум потенциальной энергии и определили массы и форму более 4000 ядер. Эти исследования — лишь часть большой работы, начало которой положил в 1955 г. С. Нильссон из Лундского университета, впервые вычисливший энергии уровней, на которых находятся отдельные нуклоны в деформированном ядре. Расчеты были продолжены в 1984 г. Мёллером и Никсом вместе с Р. Бенгтссоном из Лундского университета и Дж. Чжаном из Института современной физики в Ланчжоу на основе уточненной модели сил, действующих между нуклонами.

Теоретические исследования, проведенные в 1981 г., подтвердили особую роль уже открытых магических чисел; они показали, что большие расстояния между соседними одночастичными энергетическими уровнями сферических ядер появляются при общепринятых значениях магических чисел. Однако при больших деформациях неожиданно появляется новая энергетическая щель между одночастичными уровнями при числе 38. В результате ядро, у которого N или Z близки к 38, будет как бы подталкиваться к деформации. Поскольку ядро, протонная и нейтронная системы которого стремятся деформироваться, должно быть деформированным, результаты Мёллера и Никса показывают, что ядра, у которых N и Z близки к 38, должны относиться к наиболее сильно деформированным ядрам в природе. Супердеформация ядра криптона-74 (36 протонов, 38 нейтронов) хорошо подтверждает этот вывод. Для стронция-100 (38 протонов, 62 нейтрона) наблюдалась такая же ситуация. Как впервые отметил один из авторов настоящей статьи (Гамильтон), число нейтронов 60 — магическое в деформированных ядрах, если ему «помогает» другое магическое число. Таким образом, супердеформация стронция-100, так же как и криптона-74, — это результат усиления, возникающего из-за близости ядер к парам магических чисел: 38 и 38, 38 и 60.

Ситуация, однако, усложняется из-за близости магического числа для деформированных ядер (38) к магическому числу для сферических ядер (40). Число 40 оказывается в сферических ядрах магическим для протонов или нейтронов, если нуклоны другого сорта также стремятся «установить» сферическую форму ядра. Поэтому цирконий-90 (40 протонов, 50 нейтронов) — сферическое дважды-магическое ядро; таким же оказалось недавно открытое экзотическое ядро никеля-68 (28 протонов, 40 нейтронов). Если же «поддержки» со стороны нуклонов другого сорта нет, то доминирует форма, которую «диктует» число 38. Тот факт, что Z/N комбинации 38/40, 36/40 и 38/60 приводят к сильным деформациям, указывает на то, что магическое число для деформированных ядер (38) играет более важную роль, чем число 40. Исследователи упорно ищут экзотические ядра стронция-76 (38 протонов, 38 нейтронов) и циркония-80 (40 протонов, 40 нейтронов), но до сих пор их усилия не увенчались успехом.

Группа ученых из Университета Вандербильта заинтригована свойствами двух изотопов брома. Ядро брома-73 (35 протонов, 38 нейтронов) должно быть супердеформированным и иметь вытянутую форму или форму, похожую на мяч для регби, а ядро брома-71 (35 протонов, 36 нейтронов) должно оказаться первым супердеформированным сплюснутым ядром, т. е. ядром, имеющим форму диска. Согласно результатам Бенгтссона, Мёллера, Никса и Чжана, значения N и Z , равные 35, находятся в центре области сплюснутых супердеформированных ядер.

УЧЕНЫЕ продолжают изучать карту ядер. Наиболее распространенный метод исследования — построение поверхностей потенциальной энергии, которые изображают зависимость внутренней энергии данного ядра от его формы. В этом методе предполагается, что ядро (стабильное или экзотическое) в принципе может принять любую форму, однако каждой форме соответствует определенная энергия и ядро принимает такую форму, которой отвечает наименьшая энергия.

Прежде всего нужно выбрать математический язык, позволяющий охарактеризовать разные формы ядра, отличить их одну от другой. Представим себе мяч для регби, лежащий на столе так, что его длинная ось, соединяющая «верхушки», расположена горизонтально. Поперечное сечение мяча (это вертикальный срез, проходящий через середину мяча на равном

расстоянии от его «верхушек») представляет собой круг. Другими словами, две короткие оси мяча равны между собой, а третья ось длинее их обеих. Тело такой формы называют вытянутым сфероидом. Теперь представим, что длинная ось становится короче, а круг расширяется. В результате у мяча две равные оси становятся длинными, а третья ось будет короче их — мяч для регби превратился в диск. Тело такой формы называют сплюснутым сфероидом. И наконец, мяч можно сдавливать так, что его поперечное сечение станет скорее эллипсом, чем кругом. Теперь все три оси имеют разную длину. Такой сфероид называют трехосным.

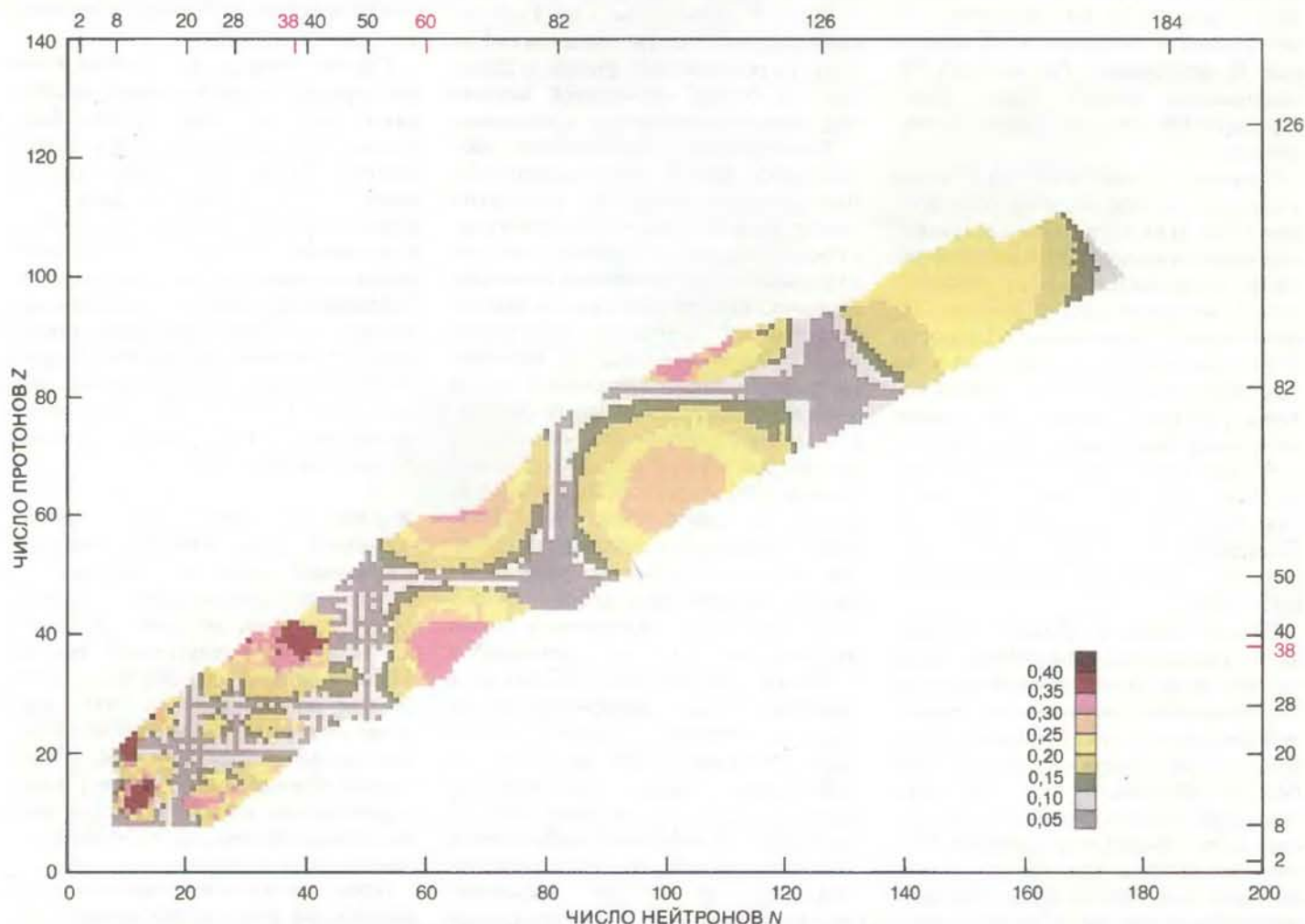
Как выразить эти изменения в математических терминах? Бор и Моттelson предложили для этого два параметра — β и γ (см. рисунок на с. 49). В грубом приближении параметр β (упоминавшийся выше в связи с супер-

деформированными ядрами) — это мера деформации, превращающей сферу в вытянутый сфероид при удлинении одной из осей; для шара $\beta = 0$. Параметр γ (угол) — мера деформации, превращающей вытянутый сфероид в трехосный при искажении его поперечного сечения. Для вытянутой сферической формы ядра $\gamma = 0^\circ$. Когда γ увеличивается, одна из коротких осей растет за счет других и все три оси приобретают разную длину: сфероид становится трехосным. Когда γ достигает значения 60° , растущая ось становится равной той оси, которая раньше была длинной; при этом сфероид становится плоским, похожим на диск, т. е. сплюснутым.

В ЦЕЛОМ КАЖДАЯ возможная форма ядра соответствует определенным значениям β и γ , которые задают точку внутри похожей на кусок пирога части плоскости, которую

математик назвал бы плоскостью β — γ . Значения энергии, необходимой, чтобы придавать ядру то одну, то другую форму, задают поверхность — поверхность потенциальной энергии. Пусть самая нижняя точка на поверхности потенциальной энергии некоторого ядра соответствует $\beta = 0$, причем энергия резко возрастает при отклонении от этой формы. Такое ядро будет сферическим в основном состоянии и любое отклонение от сферической формы вызывает появление возвращающей силы; ядро будет испытывать колебания около сферической формы.

Для ядер второго класса минимум поверхности потенциальной энергии находится при ненулевом значении β , на линии, соответствующей значениям $\gamma = 0^\circ$ или $\gamma = 60^\circ$. Эти ядра деформированы: в основном состоянии они либо вытянуты ($\gamma = 0^\circ$), либо сплюснуты ($\gamma = 60^\circ$). Характерный



ПРЕДСКАЗАННЫЕ ФОРМЫ ядер в основных состояниях. Расчеты выполнены для 4023 ядер от кислорода-16 до ядра из 279 нуклонов (102 протона, 177 нейтронов). На схеме приведены значения параметра β в зависимости от числа нейтронов и протонов. Ядра, которые согласно расчетам ближе всего по форме к сферическим (серый цвет), расположены около линий, отмечающих магические числа для

сферических ядер. Ядра, у которых согласно расчетам самая большая деформация (коричневый цвет), занимают несколько небольших областей, одна из которых включает успешно предсказанное супердеформированное ядро криптона-74 (36 протонов, 38 нейтронов). Расчеты выполнены П. Мёллером из Лундского университета в Швеции и Дж. Никсом из Лос-Аламосской лаборатории.

тип возбуждения этих ядер — вращение вокруг оси, не являющейся их осью симметрии; они могут испытывать также колебания около равновесной формы. Каждый тип колебаний может обуславливать полосы вращательных состояний.

Третий класс составляют ядра, у которых минимум поверхности потенциальной энергии находится при значениях β , не равных 0, и значениях γ , не равных 0 и 60° , т. е. в трехосной области плоскости β — γ . Для таких ядер схема энергетических уровней требует ясности и идентифицировать форму ядра становится намного труднее. Если форма ядра близка к одному из первых двух классов, то схема энергетических уровней может помочь в определении таких свойств, как величина деформации или природа колебательного возбуждения.

Грайнер и его коллеги из Франкфурта-на-Майне разработали элегантный метод построения поверхности потенциальной энергии для данного ядра по экспериментально измеренным уровням энергии. Поверхности потенциальной энергии очень удобны для того, чтобы сравнивать свойства ряда экзотических изотопов одного химического элемента (см. рисунок вверху на с. 50 и 51). Недавно объединенная группа ученых из Лундского университета и Ок-Риджской лаборатории провела систематические расчеты поверхностей потенциальной энергии для ядер из нескольких областей периодической таблицы. Большое впечатление производит достоверность предсказаний этих расчетов. Например, было успешно предсказано сосуществование форм в ядре платины-176. Кроме того, эти расчеты указывают, что протонная и нейтронная составляющие ядра могут колебаться относительно друг друга, поэтому ядро будет иметь разные деформации для протонов и нейтронов. Такие типы колебаний впервые были рассмотрены Грайнером в 1956 г.

СУЩЕСТВУЮТ еще два аспекта проблемы экзотических атомных ядер, которых мы не касались. Первый из них связан с угловым моментом ядра — физической величиной, измеряющей быстроту вращения ядра или движения группы нуклонов в нем. Ядро может обладать экзотическими свойствами (которые у обычных ядер в природе не встречаются), если у него очень большой угловой момент. Ученым из Лаборатории Лоуренса в Беркли, Аргоннской национальной лаборатории, Ок-Риджской национальной лаборатории, Общества по изучению тяжелых ионов (ГСИ) в Гейдельберге и Даресбургской лабо-

ратории (Англия) удалось зарегистрировать гамма-лучи, испускаемые ядрами в возбужденных состояниях с угловыми моментами в 40 единиц и больше. (В квантовой механике угловой момент измеряется в единицах, кратных определенной величине, которую называют постоянной Планка). Обычные ядерные состояния имеют угловые моменты порядка 6 единиц (6 постоянных Планка). Когда угловой момент ядра возрастает, нарушается жесткость его формы. Даже самые жесткие сферические и деформированные ядра принимают при этом разнообразные формы. Предпоследним шагом в эволюции ядра по такому пути становится возникновение супердеформации. Вслед за тем наступает развал ядра — ядерное деление.

Второй аспект — многообразие новых экзотических типов радиоактивного распада ядер, далеких от стабильности. Обычный способ «сбрасывания» ядром энергии возбуждения — это испускание гамма-кванта. Если ядро обогащено нейтронами (т. е. имеет их гораздо больше, чем стабильное ядро с тем же значением Z), то в результате бета-распада оно может оказаться в состоянии с такой большой энергией, что скорее испустит нейтрон, чем гамма-квант. Эта двухступенчатая радиоактивность была впервые открыта Е. Бутом и Дж. Данингом из Университета Вандербильта и Ф. Слаком из Колумбийского университета. Бета-запаздывающие двух- и трех-нейтронный типы распада были открыты для очень богатых нейтронами ядер Б. Джонсоном, П. Хансеном и их коллегами на установке ISOLDE. Испускание одного или двух нейтронов экзотическими ядрами из основных состояний предсказано теоретически, но пока не наблюдалось.

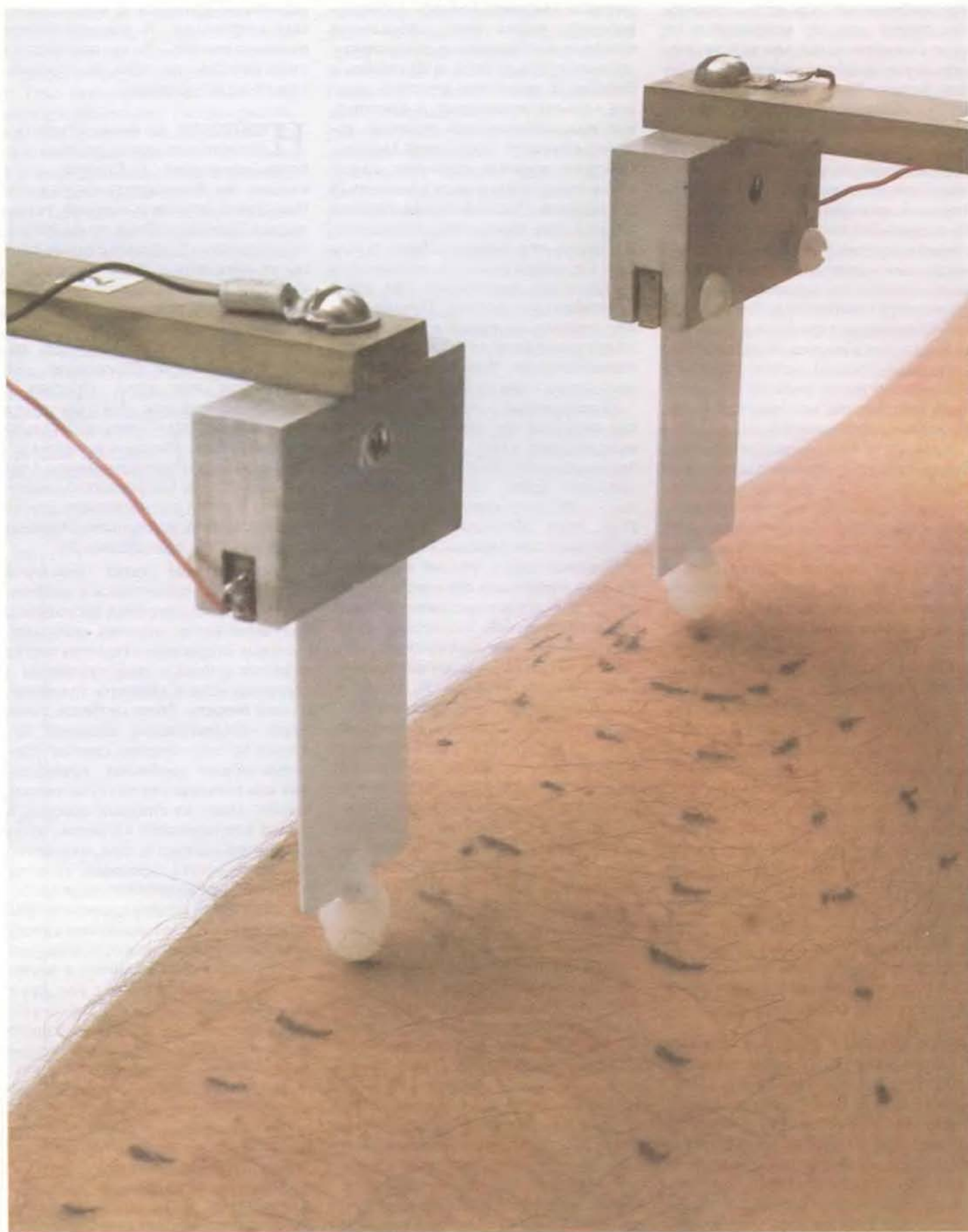
Изучение ядер, обогащенных протонами, также привело к ряду открытий. В. А. Карнауховым и его коллегами из Объединенного института ядерных исследований в Дубне (СССР) был открыт бета-задержанный протонный распад. В этом распаде ядро испускает позитрон (элементарную частицу, подобную электрону, но с положительным зарядом), а затем из возбужденного состояния — протон. Бета-задержанный двух-протонный распад был открыт сравнительно недавно в Лаборатории Лоуренса в Беркли. Бета-задержанный альфа-распад (испускание позитрона, за которым следует вылет ядра гелия-4) известен очень давно, а бета-задержанный распад с вылетом изотопа водорода-3 открыт недавно группой ISOLDE. Две группы из ГСИ в Дармштадте независимо открыли

испускание протонов из ядер в основных состояниях. А двух-протонная радиоактивность была предсказана теоретически, но пока экспериментально не обнаружена.

НЕКОТОРЫЕ из вновь открытых экзотических типов распада особенно интересны. В. Грайнер и его коллеги из Франкфурта-на-Майне и Института физики и ядерной технологии в Бухаресте (Румыния) в 1980 г. предположили*, что некоторые ядра могут испускать в процессе радиоактивного распада большие группы нуклонов, такие, как ядро углерода-14 или неона-24, если в результате образуется дважды-магическое ядро, например свинец-208 (82 протона, 126 нейтронов) или ядро, соседнее с дважды-магическим. Два года спустя предсказание было экспериментально подтверждено. Распад с вылетом углерода-14 был обнаружен сначала у радия-223 учеными Оксфордского университета, а затем и у нескольких других ядер. Распад с вылетом неона-24 найден для урана-232 и протактиния-231.

Существование таких кластеров внутри ядер, находящихся в возбужденных и даже основных состояниях, подтверждается новыми данными. Недавно сделанные открытия могут привести к новым представлениям о структуре ядра и движении нуклонов. В свою очередь, более глубокое понимание коллективного движения нуклонов должно пролить свет на некоторые общие проблемы, возникающие при изучении систем субатомных частиц. Один из главных доводов в пользу всестороннего изучения структуры ядра состоит в том, что атомное ядро — это основная, если не единственная, многочастичная система, на которой можно проверить правильность квантовомеханических теорий для систем большого, но конечного числа частиц. Трудности в изучении таких систем связаны с тем, что к ним невозможно применить статистические методы, так как для этого частиц недостаточно, и в то же время их поведение невозможно описать, рассматривая каждую частицу отдельно. Многое еще надо будет сделать и в экспериментальной и в теоретической областях, если подтвердятся все предположения, возникшие в связи с открытиями новых неожиданных свойств экзотических атомных ядер.

* Возможность распада тяжелых ядер с вылетом кластеров предсказана в работе В. Грайнера, А. Сэндулеску и Д. Поенару, опубликованной в советском журнале «Физика элементарных частиц и атомного ядра» в 1980 г. (т. 11, № 6, с. 1334.) — Прим. пер.



ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ, сделанные авторами, изгибаются при подаче на них электрического импульса. Кончик контакта покоится на коже, оказывая постоянное давление. Задавая последовательность электрических импульсов, можно создавать дополнительные легкие нажатия. В основном эксперименте один контакт создавал

сначала нажатие, служащее предупреждением и меткой (P_1), а через 0,8 с нажатие (P_2). После этого второй контакт создавал третье нажатие (P_3). Временной интервал между P_2 и P_3 и расстояние между контактами можно было легко варьировать. Метки на предплечье облегчали размещение контактов при последовательных опытах.

Пространство, время, осязание

Эксперименты показывают, что небольшие изменения интервала времени между прикосновениями к коже человека могут приводить к большому разбросу точек, где ощущаются прикосновения. Эти результаты помогают понять, как работает нервная система

ФРЭНК А. ДЖЕЛДАРД, КАРЛ Э. ШЕРРИК

ЕСТЬ ИГРА, когда один человек (испытуемый, как его называли бы в психологическом эксперименте) закрывает глаза, а кто-нибудь из окружающих легко касается его руки кончиком карандаша. Испытуемый должен сказать, к какому месту, по его мнению, прикоснулся партнер. Почти во всех случаях человек указывает точку, которая несколько смещена от точки касания. В нашей лаборатории в Принстонском университете мы вот уже более десяти лет проводим эксперименты, которые фактически представляют собой контролируемые варианты этой игры.

Мы начали исследования, опираясь на тот факт, что сенсорные системы человека приспосабливались к восприятию пространства и времени различными способами и что они далеко не равноценны в этом отношении. Хотя зрение прекрасно справляется с восприятием многих сложных особенностей пространства, оно слишком медлительно, когда речь идет об ощущениях времени. Возьмем, к примеру, кинофильм: дискретная последовательность кинокадров, проецируемая на экран со скоростью 24 кадра в секунду, воспринимается как плавно изменяющееся изображение. Слух хорошо «чувствует» время, но информация, которую он дает о пространстве, носит косвенный характер и часто бывает ошибочной. Звук, исходящий из какой-либо точки, которая лежит в срединной плоскости (делающей тело человека надвое), может восприниматься равным образом как идущий спереди или сзади. Органы вкуса и обоняния в обычных условиях очень мало участвуют в нашем восприятии пространства и времени, так как относительно медленно реагируют на химические изменения в окружающей обстановке.

Неназванным осталось осязание. Что можно сказать о нем? Органы осязания дают человеку сведения и о

пространстве, и о времени, но делают это далеко не идеально. Кожа лучше, чем ухо воспринимает пространственные различия, и лучше, чем глаз «ощущает» время. Вместе с тем осязание не может конкурировать со зрением в восприятии пространства и хуже, чем ухо, оценивает временные интервалы между стимулами. Органы осязания распределены по всему телу, но в иерархии всех органов чувств они занимают промежуточное положение. Кожа «сообщает», в каком месте к ней прикоснулись, каково расстояние между различными стимулами, какова форма объекта, который прикасается к ней, а также движется этот объект или нет. В этом смысле реакция кожи примерно аналогична реакции сетчатки, ответственной за зрительные ощущения. Важно отметить, что все осязательные оценки подвержены искажениям.

Целью наших экспериментов было получить некоторое представление об особенностях осязания, в том числе и о допускаемых им ошибках. На практике наши опыты сводились к варьированию некоторых условий игры, упомянутой в начале статьи, включая число касаний и величины временных интервалов между ними. Эксперименты показали, что величина ошибки в определении положения точки одного касания относительно точки другого касания существенно изменяется при незначительных изменениях временного интервала между ними. Этот вывод, равно как и другие результаты, позволил сделать определенные заключения об организации нервной системы человека; новые результаты свидетельствуют также о существовании не вполне понятного явления, названного нами сальтацией.

ПО УСЛОВИЯМ основного эксперимента в каждом отдельном опыте производились три разнесенных во времени нажатия на кожу

испытуемого. Эти нажатия, обозначаемые ниже P_1 , P_2 и P_3 , создавались пьезоэлектрическими контактами, которые изгибались при подаче на них электрического импульса. Первое нажатие (P_1) опережало два других на целую секунду; оно служило предупреждением о том, что вскоре последуют два других нажатия, а также играло роль метки, относительно которой испытуемый мог «отсчитывать» положение точки, где он ощущал второе нажатие. Второе (P_2) и третье (P_3) нажатия следовали быстро одно за другим. Второе нажатие совершалось в том же месте, что и первое, предупредительное нажатие P_1 . Третье нажатие осуществлялось с помощью другого контакта, который находился на некотором расстоянии от первого. Таким образом P_1 и P_2 определяли одно пространственное положение стимула, а P_3 — другое; что касается временной связи, то достаточно длительный интервал между P_1 и P_2 имел постоянную величину, а короткий интервал между P_2 и P_3 варьировался.

Если нажатия производились с помощью двух контактов, расположенных на предплечье на расстоянии 10 см друг от друга, и если интервал между P_2 и P_3 составлял $1/4$ с или больше, испытуемый ощущал два последовательных нажатия (P_1 и P_2) в одном месте и следующее, P_3 , в другом месте. (Из-за обычной ошибки в определении точки нажатия, положение этой точки (по ощущению испытуемого) не обязательно совпадает с действительной точкой, где было приложено давление, но находится в пределах круга, определяемого «радиусом ошибки».) В том случае, однако, когда интервал между P_2 и P_3 был меньше примерно $1/4$ с, наблюдалось неожиданное явление: испытуемый ощущал P_2 не на своем «истинном» месте, т. е. там же, где P_1 , а в точке, расположенной между P_1 и P_3 . Третье

нажатие как бы «притягивало» к себе точку второго нажатия.

Величина кажущегося смещения зависела от временного интервала между P_2 и P_3 . Если испытуемого просили медленно менять длительность интервала $P_2—P_3$, начиная с величины, позволявшей определить истинное положение точки нажатия P_2 и до момента, пока P_2 не совпадало с P_3 , он мог сообщать экспериментатору, на какую долю расстояния между P_1 и P_3 перемещалась точка P_2 . Например, когда интервал между P_2 и P_3 уменьшался с 1/4 до 1/10 с, P_2 казалась сместившейся к P_3 на половину расстояния. Если интервал уменьшался до 1/20 с, P_2 перемещалась на 3/4 расстояния к P_3 ; при интервале около 1/50 с положение P_2 становилось неотличимым от положения P_3 . Усреднение результатов показало, что ощущаемое смещение точки второго нажатия изменяется приблизительно линейно с величиной временного интервала между вторым и третьим нажатиями.

Представим нажатия в виде трех бусинок на нитке. Две крайние (соответствующие P_1 и P_3) зафиксированы и удерживают нитку. Ощущение, вызываемое нажатием P_2 , «располага-

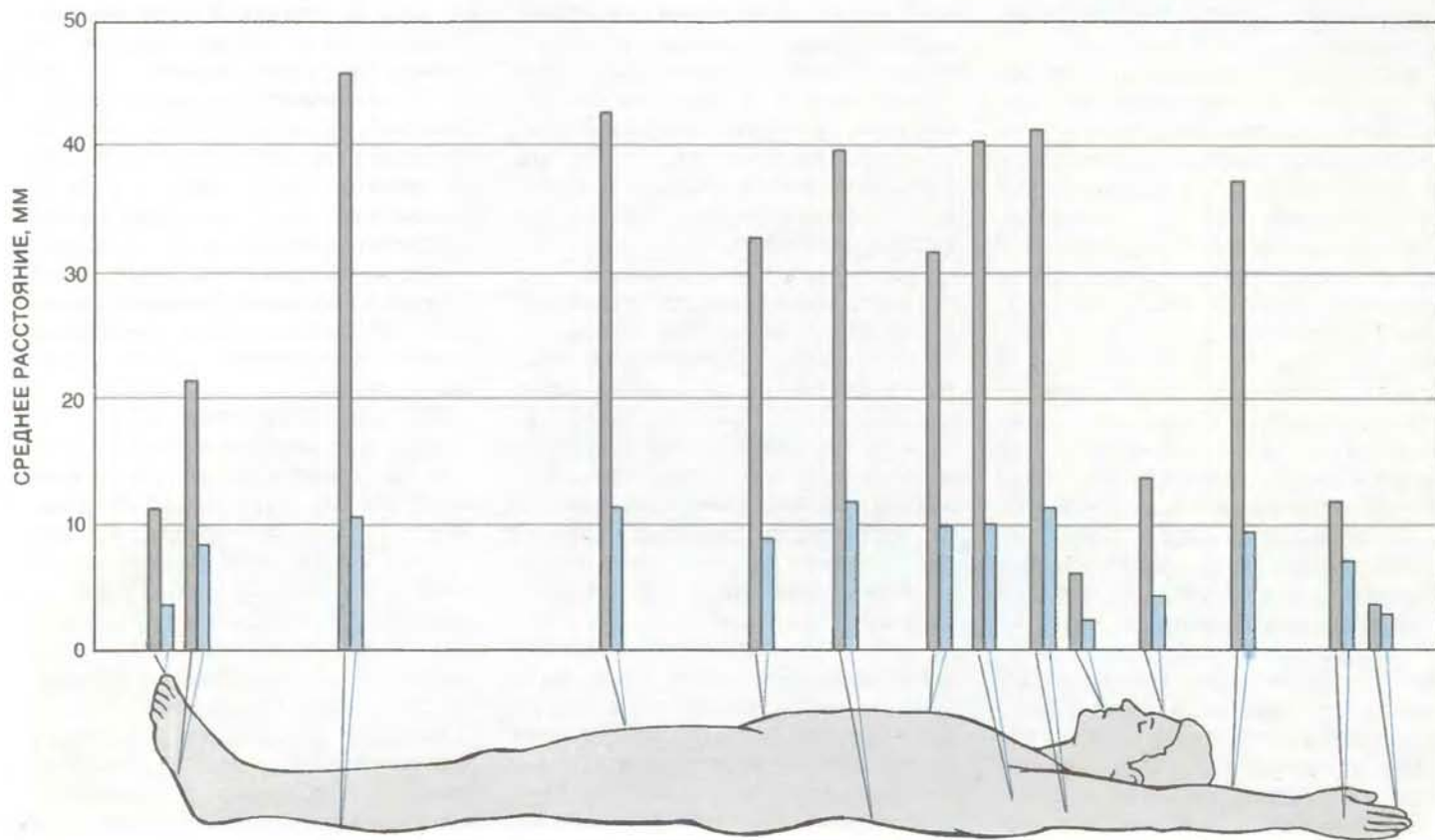
ется» на нитке в месте, которое определяется величиной временного интервала $P_2—P_3$. Если этот интервал меньше 1/50 с, P_2 совпадает в пространстве с P_3 ; если этот интервал больше 1/4 с, P_2 совпадает с P_1 . Поскольку точка, в которой ощущается нажатие P_2 , как бы перепрыгивает с того места, где, как ожидалось, оно должно ощущаться (т. е. с точки P_1/P_2), на другое место (ближе к точке P_3), этому явлению было дано название сальтации (от латинского saltare — прыгать).

В ОПИСАННОМ выше эксперименте расстояние между контактами на предплечье было взято равным 10 см. Будет ли наблюдаться то же явление, если контакты разнести на 20 см? Оказывается, нет. Область, в которой проявляется эффект сальтации, ограничена, причем ее размеры и форма различны для различных участков тела.

Размеры области сальтации легко определить. Контакт, создающий два первых нажатия, оставляют на месте, в то время как контакт P_3 постепенно сдвигают — каждый раз на одно и то же небольшое расстояние — вдоль радиуса окружности с центром в точке

P_1/P_2 . На каждом шаге экспериментатор меняет величину временного интервала $P_2—P_3$, следя за тем, ощущает ли испытуемый точку P_2 смещенной или нет. Когда экспериментатор доходит до точки, где ни при одном временном интервале сальтация не наблюдается, данная серия опытов заканчивается; при этом измеряют расстояние между контактами P_1/P_2 и P_3 . Затем контакт P_3 сдвигают на некоторое расстояние вдоль радиуса от центра (т. е. заведомо за границу области сальтации) и начинают последовательно сдвигать его назад к точке P_1/P_2 , проделывая ту же процедуру проверки сальтации. Новое проявление сальтации позволяет найти вторую точку. Среднее из двух измеренных расстояний определяет граничную точку области сальтации. Если повторить эту процедуру для нескольких радиусов и затем соединить полученные точки, то мы определим границу области сальтации для данного участка тела.

Описанная процедура позволяет составить карту областей сальтации на человеческом теле: на внутренней и внешней поверхностях предплечья, на груди, на передней и задней поверхностях бедер, на ладони и на указатель-



НОРМАЛЬНАЯ ОШИБКА ОСЯЗАНИЯ может быть определена двояким образом: во-первых, как усредненное значение минимального расстояния между контактами, при котором испытуемый ощущает пару отдельных нажатий при одновременном включении контактов (черные столбики);

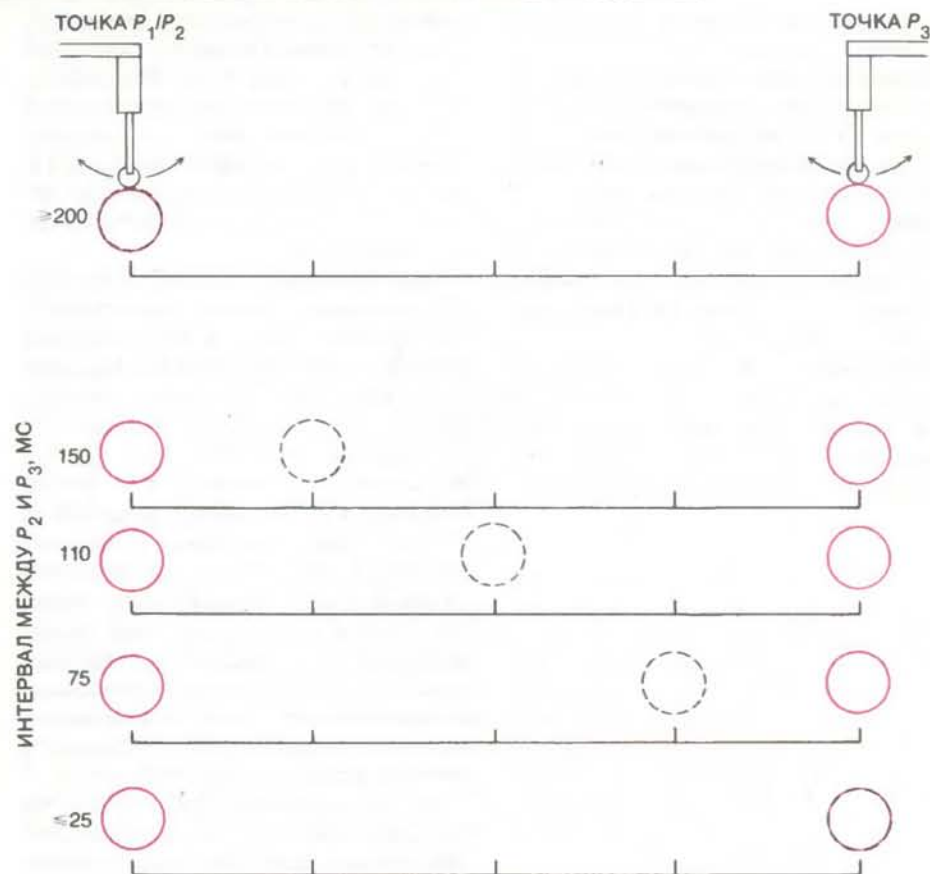
во-вторых, как усредненное расстояние между точкой, где ощущается нажатие, и реальным контактом (цветные столбики). Как видно из рисунка, точность осязания существенно различна на разных участках тела; наибольшая точность наблюдается на губах и кончиках пальцев.

ном пальце. Мы пытались исследовать и другие обширные участки кожи, но столкнулись с рядом трудностей. Дело не просто в размещении контактов и регистрации показаний. Статическое давление, которое производят касающиеся кожи контакты, должно быть строго постоянным, между тем как движения тела, вызываемые дыханием и циркуляцией крови, создают значительные вариации силы давления. Необходимо также учитывать различия в форме отдельных частей тела и состояние кожного покрова.

Несмотря на это, некоторые обобщения можно сделать и на основании уже полученных результатов. В частности, весьма интригующей выглядит форма некоторых областей сальтации. На конечностях они напоминают овал, большая ось которого направлена вдоль оси конечности. Для внутренней и внешней поверхностей предплечья и для передней и задней поверхностей бедра продольная ось овала примерно в два раза длиннее поперечной. Области сальтации на ладони и на указательном пальце более округлые. Грудь обладает иной особенностью: область сальтации на ней «обрезана» срединной плоскостью тела. То же наблюдается на лбу, а также в центре спины и живота. Во всех случаях выполняется одно и то же правило: область сальтации не пересекает срединной плоскости тела. Исходя из этого, можно сделать определенные выводы в отношении нервных процессов, ответственных за сальтацию, поскольку наблюдаемое явление явно соответствует дихотомии центральной нервной системы, т. е. разделению последней на правую и левую половины.

НА ПЕРВОМ этапе исследований мы столкнулись с простейшими случаями сальтации, вызываемой двумя нажатиями на кожу на небольшом расстоянии друг от друга, которым предшествовало нажатие, игравшее одновременно роль стимула-предупреждения и стимула-отсчета. Что произойдет, если единичное нажатие P_2 заменить множественным стимулом — рядом нажатий? При условии, что эти нажатия следуют одно за другим довольно быстро и все создается в точке P_1 , наблюдаются два отклика. В основном эксперименте точка, где испытуемый ощущал нажатие P_2 , могла находиться в любом месте на отрезке между точками P_1 и P_3 , в зависимости от величины временного интервала P_2-P_3 .

Легко догадаться поэтому, что серия нажатий P_2 будет восприниматься рассредоточенной на отрезке меж-



ПОЛОЖЕНИЕ ТОЧКИ НАЖАТИЯ P_2 , ощущаемое испытуемым (пунктирные кружки), относительно точек нажатий P_1 и P_3 (цветные кружки) линейно зависит от величины временного интервала между P_2 и P_3 в диапазоне от 1/4 до 1/50 с. Этот эффект получил название сальтации: хотя P_2 создается тем же контактом, что и P_3 , вызываемое им ощущение приходится на место, находящееся далеко за пределами области нормальной ошибки для P_1 . При соответствующей величине временного интервала P_2-P_3 стимул P_2 как бы прыгает из точки P_1/P_2 , где расположен первый контакт, ближе к P_3 , вызывая там ощущение нажатия.

ду P_1 и P_3 , поскольку фактически в одном опыте этого типа присутствует ряд временных интервалов P_2-P_3 . Удивительнее другое: для одного и того же участка тела область сальтации множественного нажатия всегда больше области сальтации единичного нажатия.

Мы провели серию опытов (в них принимали участие те же испытуемые, что и в опытах по исследованию сальтации единичного нажатия), в которых число нажатий P_2 варьировалось от 2 до 12, а временные интервалы между ними оставались постоянными и равными 25 мс. Как и прежде, контакт P_3 перед каждым опытом в данной серии отодвигали на некоторое расстояние от другого контакта. Число нажатий P_2 в каждой серии опытов выбиралось случайным образом. Результаты показали, что число нажатий P_2 играет существенную роль: чем оно больше, тем дальше можно отодвинуть контакт P_3 , продолжая наблюдать эффект сальтации.

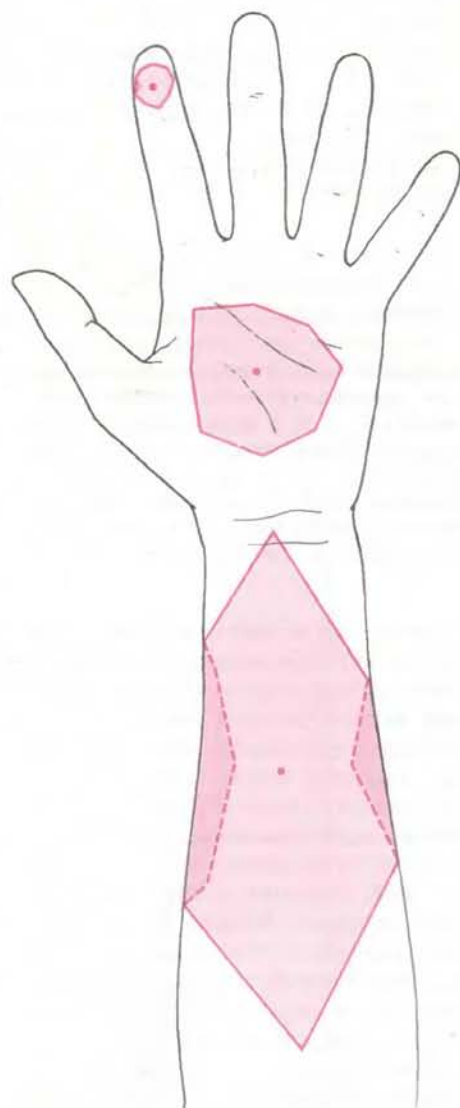
Эта особенность сальтации и другие, упомянутые выше, ставят такие

вопросы из области нейрофизиологии, на которые можно дать лишь гипотетические ответы. Однако некоторые второстепенные загадки можно разгадать уже сейчас. Так, например, мы отмечали выше, что точка, где ощущается нажатие P_2 , не может «перейти» через срединную плоскость тела, и что этот факт согласуется с симметрией строения центральной нервной системы. Можно ли показать, что отмеченное явление действительно имеет причиной особенность строения центральной нервной системы, а не создается в кожном покрове?

Для ответа на этот вопрос мы провели следующий опыт. Узкая полоска кожи была подвергнута местной анестезии с помощью новокаина, так что испытуемый не ощущал в этом месте не только нажатий, но даже уколов булавкой. На одном конце этой полоски кожи, сразу же за пределами потерявшего чувствительность места, производили нажатие P_1 и по шесть нажатий P_2 ; у другого конца этого участка кожи сразу после серии нажатий P_2 осуществлялось нажатие P_3 . Если сальтация обусловлена лишь те-

ми процессами, которые происходят в кожном покрове, рассуждали мы, нажатия должны ощущаться только в тех местах, где оказывается давление на кожу. Если же причина сальтации кроется в функционировании центральной нервной системы, то нет основания полагать, что нажатия не будут ощущаться как находящиеся на «положенных» местах, т. е. между точками P_1 и P_3 на участке кожи, подвергнутом анестезии.

Эксперимент позволил сразу же сделать выбор в пользу одного из этих «если». При всех допустимых временных интервалах точки, где ощущались нажатия P_2 , «путешес-



ОБЛАСТИ САЛЬТАЦИИ (закрашено) на внутренней поверхности предплечья, ладони и подушечке указательного пальца (по данным измерений авторов). Эти области представляют собой участки кожи, в пределах которых можно двигать контакт P_3 относительно фиксированной точки P_1/P_2 (цветные точки), так чтобы наблюдалась сальтация. В местах, где область сальтации охватывает руку и палец, граница показана пунктиром.

вовали» по участку кожи, подвергнутому анестезии. Таким образом, сальтационные скачки есть, безусловно, продукт деятельности центральной нервной системы, вероятно, головного мозга, а не локальный феномен. Но раз так, то аналогичные эффекты должны наблюдаться и в работе других органов чувств.

Действительно, подобное явление обнаруживается и в зрительной системе. Предположим, на экране вспышкают (одновременно или быстро одно за другим) два небольших световых пятна, отстоящих друг от друга по вертикали на 5 угловых градусов. Если держать эти пятна в поле зрения, фиксируя взор на точке, лежащей на 15—40 угловых градусов в стороне от них, между ними часто можно видеть пятно-фантом. Испытуемый видит его даже в том случае, если между изображениями реальных пятен находится «слепое пятно» сетчатки. Было отмечено также, что если одно пятно красного цвета, а другое зеленого, то пятно-фантом кажется желтым.

Можно продемонстрировать явление сальтации и в слуховом восприятии. Из двух динамиков, расположенных в двух ощутимо различных местах, раздаются три шелчка (соответствующие нажатиям P_1 , P_2 и P_3) — все три с одной стороны испытуемого примерно в метре от него. Когда шелчок P_1 («предупреждение-метка») и шелчок P_2 создаются одним динамиком, а шелчок P_3 — спустя 40 мс — другим динамиком, испытуемому кажется, что P_2 исходит из некоторой точки между динамиками. Как и в случае тактильных ощущений, изменяя величину паузы между P_2 и P_3 , можно заставить P_3 «гулять» между двумя динамиками. Похожее явление описал физик и физиолог венгерского происхождения Георг фон Бекеш. Он считал, что этим явлением объясняются ошибки в восприятии расположения оркестровых инструментов в концертном зале, «загрязненном» эхо. Сначала ухо воспринимает звук, приходящий от самого инструмента, а через несколько миллисекунд — с несколько иного направления — эхо (отражение того же звука). За счет этого создаются условия для возникновения сальтации, что и приводит к ошибкам в определении положения инструментов.

ОПИРАЯСЬ на факты, установленные в наших экспериментах, мы можем высказать некоторые соображения о нейрофизиологических механизмах, обуславливающих сальтацию. Для этого сравним ее с другим сенсорным явлением, называемым фи-феноменом.

Эту хорошо известную иллюзию, которая была обнаружена в экспериментах по зрительному восприятию, можно вызвать, предъявляя в быстрой последовательности два разнесенных в пространстве стимула (для зрения это могут быть вспышки света, для осязания — нажатия на кожу). При выполнении этих условий испытуемый воспринимает стимул непрерывно движущимся в поле зрения или по поверхности кожи. Поскольку фи-феномен возникает при временных интервалах между стимулами около 100 мс и менее (эта величина попадает в широкий диапазон, характерный для сальтации), возникает вопрос: не представляет ли одно явление разновидность другого? Однако внимательный экспериментатор должен заметить существенное качественное различие в характере этих явлений. Применительно к осязанию и зрению сущность фи-феномена состоит в восприятии непрерывного движения. В этом его отличие от сальтации, для которой характерно восприятие одного или более нажатий в ряде отдельных точек на коже. Движение в этом случае «выводится» из опыта, но не ощущается непосредственно.

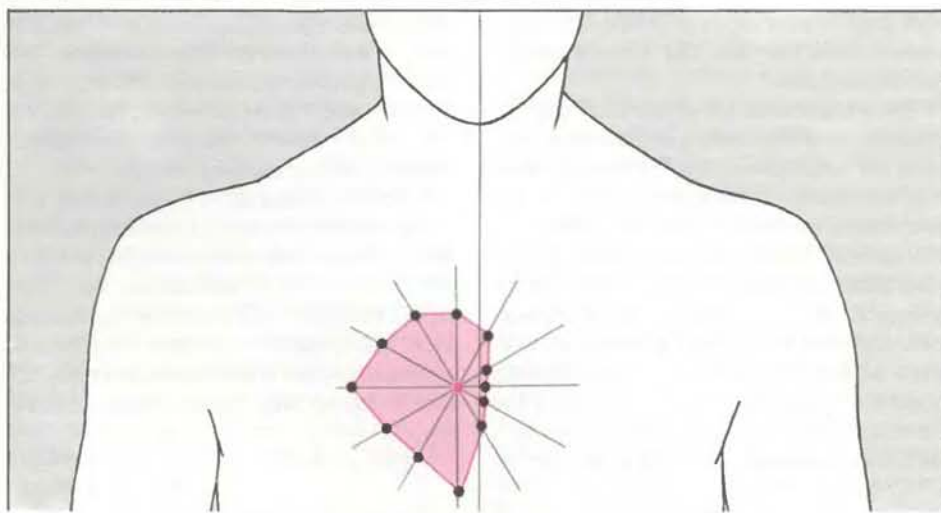
Еще большее значение имеет то, на каком участке тела проявляется тот и другой тактильный феномен. Если на противоположных сторонах лба производить два нажатия с соответствующим временным сдвигом, фи-феномен будет наблюдаться в большом числе случаев. Сальтационное нажатие-фантом в этом случае никогда не ощущается, поскольку область сальтации не пересекает срединной плоскости тела. Совершенно ясно, что нервные механизмы, ответственные за фи-феномен и за сальтацию, отличаются друг от друга.

Несмотря на то что в изучении центральной нервной системы в последнее время было сделано немало блестящих достижений, мы не можем много добавить к тому, что уже было сказано о нервных механизмах, объясняющих различные проявления сальтации. Пока мы можем лишь строить гипотезы.

Проведенные на обезьянах исследования соматосенсорной области (части коры мозга, которая «отвечает» на тактильные стимулы) открыли существование рецептивных полей: таких участков кожи, прикосновение к которым ведет к возбуждению нейронов в определенном небольшом участке коры. При изучении зависимости размеров рецептивных полей от их положения на теле поражает их сходство с областями сальтации. На туловище и верхних конечностях рецептивные поля больше, на кистях

рук и пальцах - меньше. Таким образом, помимо дихотомии, т. е. разделения на правую и левую половины, в явлении сальтации отражаются и более тонкие особенности пространственной организации центральной нервной системы.

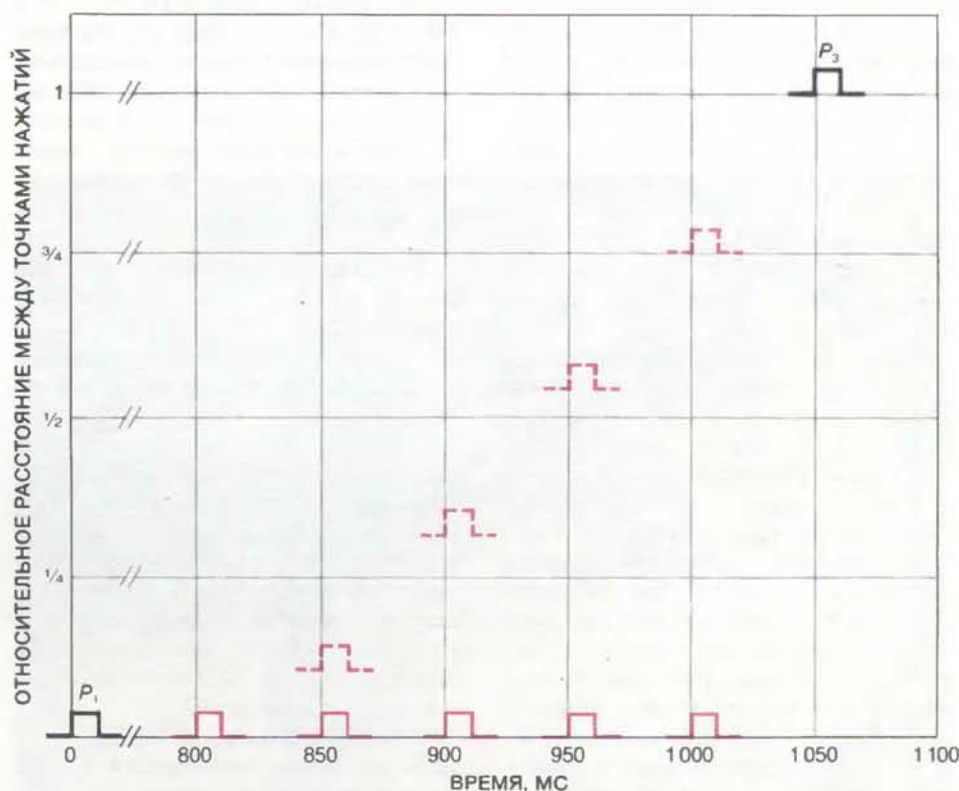
Как мы указывали выше, в том случае, когда между нажатиями P_1 и P_3 производят несколько нажатий P_2 , область сальтации увеличивается. Это может объясняться накоплением сигналов от повторных стимулов, заставляющим возбуждение распространяться за пределы рецептивного поля и тем самым увеличивающим участок коры, обеспечивающий существование сальтации.



ИССЛЕДОВАНИЯ временной организации процессов в коре, подобные тем, которые помогли установить ее пространственную организацию, еще предстоит провести. Но изучение «обратной маскировки» структур зрительного, слухового и тактильного восприятия показывает, что эта особенность тесно связана с явлением сальтации. Обратная маскировка наблюдается в тех случаях, когда два стимула, как, скажем, звуки речи или буквы, предъявляются испытуемому в быстрой последовательности. Второй стимул странным образом влияет на первый: он не просто доминирует над первым или «заслоняет» его, но как бы «вбирает» его в себя. Тот факт, что нажатие-фантом, создаваемое нажатием P_2 , «притягивается» нажатием P_3 , можно рассматривать как результат такой же модификации первого нервного сигнала последующим сигналом. Поскольку реакция нервной системы на более позднее нажатие накладывается на реакцию, создаваемую более ранним нажатием (при условии, что все они оказываются в небольшом временном интервале и в одной области сальтации), именно вторая реакция начинает превалировать в сознании, так как за ней следует относительное «молчание» или, по крайней мере, не появляются новые стимулы, способные ее видоизменить.

Действительно, тщательный анализ показывает, что под влиянием нажатия P_3 нажатие P_2 изменяет не только свое кажущееся положение: оно теряет свою «резкость» и частично размер и силу. Чем ближе оно во времени к P_3 , тем более значительна эта модификация. Однако при изучении первичных процессов самой главной характеристикой является все-таки местоположение. Потеря пространственной «четкости» — вот что замечает наблюдатель, когда времен-

ПЛОСКОСТЬ СИММЕТРИИ ТЕЛА (черная линия) определяет границу, через которую нажатие-фантом P_2 не может «перепрыгнуть». В согласии с этим правилом область сальтации на груди (закрашено) для случая, когда точка P_1/P_2 (цветная) расположена в сантиметре от плоскости симметрии, оказывается обремененной этой плоскостью. Таким образом, в характере сальтации отражается особенность организации центральной нервной системы, которой свойственна дихотомия — различие между правой и левой половинами тела. Серые лучи, исходящие из точки P_1/P_2 , — это радиусы, вдоль которых перемещался контакт P_3 во время опыта по определению граничных точек области сальтации.



МНОГОКРАТНЫЕ НАЖАТИЯ P_2 (показаны цветом), равномерно распределенные во времени (и начинавшиеся, как и в случае с единственным нажатием P_2 , спустя 800 мс после P_1), по ощущениям испытуемого оказываются равномерно распределенными в пространстве (цветные пунктирные фигуры) между точками P_1/P_2 и P_3 . Положение, в котором ощущается каждое отдельное нажатие P_2 , связано с положением нажатия P_2 во времени относительно P_3 : чем ближе оно к нажатию P_3 во времени, тем ближе точка, где оно ощущается, к точке P_3 . Опыты с многократными нажатиями P_2 открывают еще одну удивительную закономерность: область сальтации в этих условиях оказывается всегда больше, чем в опытах с единичными нажатиями на том же участке кожи. Более того, чем больше число нажатий P_2 , тем больше наблюдаемое расширение области сальтации.

ные рамки сжимаются и предшествующее событие как бы поглощается последующим.

Электрическая активность коры отражает возбуждение многих нервных клеток, поскольку рецептивные поля значительно перекрываются. Если два нажатия оказываются в перекрывающихся рецептивных полях и, таким образом, вызывают возбуждение одних и тех же нейронов, из-за близости обоих стимулов во времени создается эффект обратного торможения; если же нажатия соответствуют различным рецептивным полям, путаница, создаваемая в мозге из-за их

пространственно-временной близости, уменьшается или исчезает совсем. Можно предположить поэтому, что четкие границы области сальтации определяют границу перекрывающихся рецептивных полей.

Следует сказать, что хотя эти выводы носят умозрительный характер, они нужны для того, чтобы указать на те области и процессы, которые представляют интерес для исследования. Дальнейшее изучение процессов, происходящих в нервной системе, покажет насколько верны наши гипотезы.

Наука и общество

Двойной объект?

ГРУППА астрономов, возглавляемая Э. Тернером из Принстонского университета, получила данные, свидетельствующие о том, что объект, который ранее считался парой квазаров (звездоподобных объектов), по-видимому, представляет собой два изображения одного и того же квазара. Хотя о примерах подобного расщепления изображений астрономы сообщали и ранее, данный случай отличается тем, что предполагаемые изображения разделены расстоянием по крайней мере в 20 раз большим, чем наблюдалось прежде.

Единственным известным механизмом, который может обуславливать такое расщепление изображений, является эффект так называемой гравитационной линзы, впервые предсказанный в 1936 г. Альбертом Эйнштейном. Гравитационная линза образуется в результате искривления пространства-времени под действием гравитационного поля, создаваемого массивным объектом. Луч искривляется в окрестности массивного объекта, поскольку его путь зависит от локальной геометрии пространства-времени. Следовательно, расходящиеся лучи от удаленного источника, проходя около массивного объекта, могут быть изогнуты таким образом, что они начнут сходиться. Если на их дальнейшем пути окажется Земля, то лучи, приходя к наблюдателю по немного различающимся направлениям, могут создать видимость нескольких источников света, расположенных в небольшой области неба.

До настоящего времени наиболее широкой парой были изображения объектов, удаленных на расстояние около $0,002^\circ$. Когда в 1979 г. была об-

наружена близкая пара квазаров, возможность того, что этот объект представляет собой пару изображений одного и того же квазара, была отвергнута именно на основе аргументов, касающихся величины расстояния: два небесных объекта (обозначенные соответственно 1146+111 В и 1146+111 С) разделены расстоянием $0,04^\circ$, которое казалось неправдоподобно большим для изображения, образованного гравитационной линзой. Тем не менее были данные, свидетельствующие о том, что между этими квазарами может существовать связь.

Для квазаров характерно заметное смещение спектра их излучения в длинноволновую (красную) область. Этот эффект называют красным смещением. Такой сдвиг может быть вызван высокой скоростью удаления квазара (которая, как считают, непосредственно связана с его расстоянием от Земли) или же сильным гравитационным полем самого квазара. Необычным кажется то, что спектры объектов 1146+111 В и 1146+111 С имеют одинаковые красные смещения, что означает либо их одинаковую удаленность от Земли, либо то, что их масса одинакова.

В феврале 1986 г. Б. Пачински из Принстонского университета в письме в журнал «Nature» отметил, что среди других пар и триплетов квазаров двойной объект 1146+111 может быть кажущимся двойным, если между одиночным квазаром и Землей находилась гравитационная линза. Пачински предложил провести точные измерения красных смещений и профилей эмиссионных спектров обоих квазаров; при анализе механизмов происхождения нескольких изображений одного и того же квазара спектры

должны выполнять роль «отпечатков пальцев».

Именно группа астрономов под руководством Тернера в конце концов проверила спектральные «отпечатки пальцев» объектов 1146+111 В и 1146+111 С и обнаружила, что они удивительно похожи. Исследователи получили спектральные данные на Национальной обсерватории Китт-Пик и опубликовали их в журнале «Nature».

В предварительных наблюдениях, проведенных с помощью оптических телескопов, пока не было обнаружено достаточно больших сверхскоплений галактик, которые могли бы объяснить столь большое расстояние между изображениями объектов 1146+111 В и 1146+111 С. Поэтому астрономы рассматривают более экзотические объекты, обладающие огромными массами, — черные дыры или космические струны. Космические струны (чрезвычайно тонкие, но крайне плотные нити) могут протягиваться через всю Вселенную; их существование предсказывается в некоторых теориях происхождения Вселенной. Возможность того, что такая космическая струна может быть гравитационной линзой, влияющей на вид изображения объекта 1146+111 В и С, вызвала большой интерес у астрофизиков и космологов, поскольку вплоть до настоящего времени космические струны не были обнаружены.

«Дыры» в атмосфере

ОТКУДА взялась на Земле вода? Традиционный ответ таков: вода выделилась из расплавленных первичных пород вместе с основными атмосферными газами и была выброшена вулканами вскоре после образования планеты. Л. Франк и его коллеги из Университета шт. Айова выдвинули новую гипотезу, в какой-то мере связанную с «кометным бумом» последних лет. Согласно этой гипотезе, вода накапливалась на Земле в течение миллиардов лет при попадании в верхнюю атмосферу небольших ледяных комет, причем «кометный дождь» может продолжаться и сейчас. На Землю при этом ежеминутно попадает до 20 «комето-капель».

Основанием для такого предположения, опубликованного Л. Франком, Дж. Сигвортом и Дж. Гравеном в «Geophysical Research Letters», послужили спутниковые наблюдения солнечного ультрафиолетового излучения, изотропно рассеиваемого атомами кислорода, которые преобладают в верхней атмосфере, на высотах около 100 км. Изображения дневной ат-

мосферы в ультрафиолетовом диапазоне, полученные на полярной орбите спутником «Dynamics Explorer 1» при наблюдениях с больших высот, кажутся довольно однородными.

Однако это представление обманчиво. Франк и его коллеги тщательно просмотрели тысячи изображений дневной стороны Земли, полученные за последние 5 лет. Почти на каждой снимке дневной атмосферы они сумели найти примерно десять пятен с интенсивностью свечения в 5—20 раз меньше фоновой и временем жизни несколько минут. Эти темные пятна они назвали «дырами». Их диаметр иногда достигает 150 км, хотя обычно оказывается темным только один элемент изображения, обработанного на ЭВМ, что соответствует 50 км. Несмотря на это, сотрудники Университета шт. Айова считают, что «дыры» не связаны с ошибками обработки и передачи информации, так как частота их регистрации превышает случайную ошибку, и представляют собой реальное физическое явление.

Исследование возможных причин возникновения «дыр» привело этих ученых к идее «кометного дождя», так как кометы состоят в основном из водного льда и снега, а водяные пары хорошо поглощают ультрафиолетовое излучение. Если испарение комет происходит между слоем кислорода, рассеивающим солнечное ультрафиолетовое излучение, и орбитой «Dynamics Explorer 1», то образовавшееся облако пара должно поглощать ультрафиолетовое излучение. На изображениях, передаваемых со спутника, при этом должны наблюдаться темные пятна — «дыры».

По оценкам Франка и его коллег, для образования облака размером 50 км необходим «пушистый» снежный ком диаметром 12 м и весом 100 т. По мере приближения к Земле этот ком должен был разрушаться приливными или электростатическими силами и испаряться, превращаясь в своеобразный «газовый поршень» в атмосфере. Величину полного потока комет — порядка 20 стотонных комет в минуту — можно оценить с учетом того, что на ночную и дневную стороны Земли в среднем должно попадать примерно одинаковое число комет. При этом приток воды на Землю, если измерять его по нормам атмосферных осадков, составлял бы 0,0001 дюйма в год и его вполне хватило, чтобы за 4,6 млрд. образовались океаны.

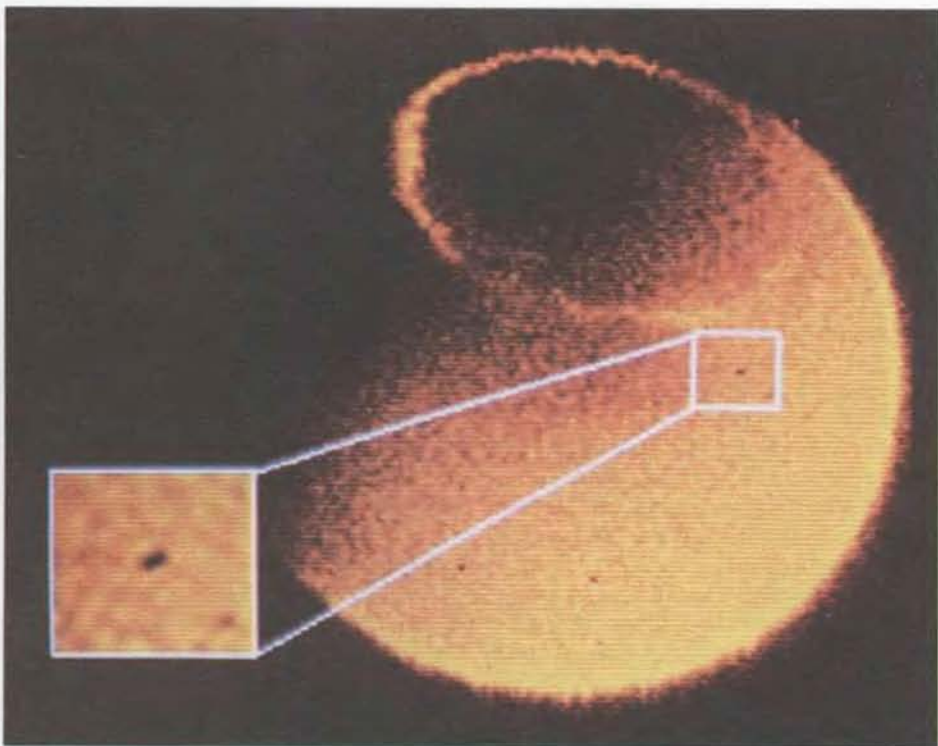
Франк и его сотрудники предполагают, что их гипотезу можно применить во многих случаях. Ледниковый период, например, они объяснили внезапным увеличением притока ко-

мет в 100—1000 раз, причем образование льдинок, мешающих прохождению солнечного света, могло происходить на больших высотах. Массовые вымирания различных видов также могут быть связаны с климатическими изменениями, вызванными пиками в потоке малых комет, а не со столкновениями Земли с большими кометами или астероидами, как это обычно предполагается. Более того, «кометный дождь», образующийся за пределами Солнечной системы, должен, согласно обсуждаемой гипотезе, выпадать и на других планетах, по крайней мере находящихся дальше от Солнца, чем Земля.

Однако в случае Марса есть основания для определенных сомнений в правильности гипотезы «кометного дождя», так как получая, согласно теории, примерно столько же воды ежегодно, как и Земля, он все же остался без океанов. Куда исчезла вся марсианская вода? Т. Донахью из Мичиганского университета считает, что с поверхности Марса, имеющей среднюю температуру — 53 °С, вода не могла испариться. Если она оставалась на планете, то должен был образоваться слой вечной мерзлоты толщиной в сотни километров, существование которого кажется физически маловероятным.

Более серьезные возражения связаны с тем, что при образовании «дыр» в атмосфере, малые кометы, чтобы попасть к Земле, должны быть защищены пылевой «мантией» от испарения под действием Солнца. По мнению Я. Стюарта из Колорадского университета в Боулдере, гравитационное поле кометы диаметром 12 м не может удержать такую «мантию». Стюарт утверждает также, что для образования облака из паров воды поперечником 50 км на высоте около 100 км комета должна начать разрушаться и испаряться за 1 млн. км от Земли. При этом большое количество ионов водорода и кислорода должно было инжектироваться в межпланетное пространство и их концентрация должна быть гораздо больше, чем измеренные значения.

Стюарт — один из экспериментаторов, не верящих в реальность «дыр» в атмосфере, но ни он, ни другие ученые не нашли источника ошибки в данных, полученных группой ученых из Университета шт. Айова. Другие исследователи верят в реальность «кометного дождя». Однако до сих пор никто не предложил разумной альтернативы необычному объяснению спутниковых наблюдений, с которым выступили исследователи из группы Франка.



АТМОСФЕРНЫЕ «ДЫРЫ» видны как темные пятна на изображении дневной стороны Земли в ультрафиолетовом диапазоне длин волн, полученном со спутника «Dynamics Explorer 1». «Дыра» на вставке слева имеет необычно большой размер — 150 км в диаметре. Около 10 «дыр» появляется на дневной стороне каждую минуту; это могут быть облака — остатки испарившихся ледяных комет, которые поглощают ультрафиолетовое излучение Солнца.

Моделирование условий полета

Авиационные тренажеры, на которых летчики могут отрабатывать выполнение сложных задач пилотирования, находят все большее применение.

Дальнейшее совершенствование имитации на тренажерах визуальной обстановки ставит сложные задачи перед вычислительной техникой

РАЛЬФ НОРМАН ХАБЕР

В НАСТОЯЩЕЕ время большинство летчиков учатся летать так же, как и 75 лет назад, — сидя за рычагами управления самолетом в реальном полете. Как правило, тренировочные полеты выполняются сначала с инструктором, находящимся рядом или позади пилота. Как только летчик научится безопасно совершать посадку, большую часть остальных тренировочных полетов он выполняет самостоятельно. С улучшением летных характеристик самолетов и значительным повышением требований к летчикам число серьезных проблем, связанных с их практической подготовкой, неизбежно возрастает.

Если во время второй мировой войны скорость полета истребителей в среднем составила 450 км/ч (такая скорость доступна современным гоночным автомобилям), то современные истребители имеют в 2—5 раз большую скорость. Более того, их высокая маневренность при больших скоростях требует от летчика невероятно быстрой реакции. Ведь даже при относительно малой по нынешним меркам скорости, равной 600 узлам (1111,2 км/ч), самолет за 1 с пролетает расстояние более 1000 футов (305 м), примерно 1 милю каждые 5 с. Совершая с такой скоростью горизонтальный полет на высоте 1000 футов, самолет столкнется с землей через 20 с после начала полета над склоном в 5°; такой склон часто трудно обнаружить с воздуха. Время до столкновения уменьшается пропорционально уменьшению высоты полета и составляет всего 2 с при высоте, равной 100 футам. Двух секунд, возможно, достаточно, чтобы предотвратить катастрофу, однако летчик в этот мо-

мент может слушать предупреждение ведомого или оглянуться, чтобы убедиться в отсутствии сзади атакующего самолета, либо может готовиться атаковать находящуюся впереди цель. Даже если летчик выполняет лишь некоторые из этих действий, ему может не хватить и 20 с, чтобы избежать столкновения с землей.

Как обучить летчика быстро и успешно выполнять столь сложные задачи? Наиболее эффективный способ, впервые примененный во время второй мировой войны, основан на использовании авиационного тренажера, с помощью которого летчик может отработать выполнение многих сложных задач, находясь в безопасных условиях на земле. Он может даже научиться быстро реагировать в неожиданных ситуациях, в частности тех, которые могут привести к катастрофе.

НАИБОЛЕЕ распространенным «родственником» авиационного тренажера является автомобильный тренажер. В кабине этого тренажера вместо ветрового стекла используется проекционный экран, на котором воспроизводится дорожная картина. На этой картине моделируются заранее запрограммированные ситуации (приближение других машин, повороты дороги, дорожные знаки, сигналы и т.п.), на которые должен отреагировать водитель, управляя машиной с помощью руля, педалей «газ» и «тормоз». Этот тип тренажера имеет серьезное ограничение: изменение по-

ложения органов управления не сопровождается соответствующим изменением в дорожной картине, воспроизводимой на экране. Поворачивая руль, водитель не видит и не ощущает поворота машины. Почти все автомобильные тренажеры работают по такому принципу, т.е. с «разомкнутым контуром управления».

В СИСТЕМЕ, построенной по принципу «замкнутого контура управления», напротив, при изменении положения органов управления происходят изменения в воспроизводимой визуальной картине. Чтобы контур в тренажере был замкнутым, воспроизводимая картина должна действительно существовать либо в виде физической модели, либо в виде программы в компьютере. При использовании в тренажере физической модели перемещающаяся камера снимает модель с положения, соответствующего положению движущегося самолета. Это позволяет летчику видеть часть модели земной поверхности, над которой летит самолет, и если самолет увеличивает скорость или совершает разворот, то и камера соответственно увеличивает скорость или поворачивается относительно макета местности. Если же картина, видимая из самолета (визуальная картина), моделируется с помощью программы, то компьютер синтезирует изображение части этой картины непосредственно впереди кабины. Картина при этом меняется в соответствии с движением самолета.

ОТРАБОТКА ПОСАДКИ (на тренажере) легкого реактивного истребителя AV-8B Harrier II на палубу авианосца. Тренажер, предназначенный для отработки боевых вылетов, создан компанией McDonnell Aircraft.

В настоящее время авиационные тренажеры используются для обучения выполнению своих функций каждого члена экипажа всех типов самолетов, вертолетов и космических кораблей. Я остановлюсь в основном на обучении летчиков реактивных истребителей, поскольку именно здесь проблемы моделирования условий полета таких самолетов вызывают наибольшие трудности. Высокая скорость и малые высоты полета требуют особых средств имитации визуальной картины и ощущений движений самолета.

Типичный тренажер реактивного самолета состоит из кабины реального самолета (без остальной его части) с сиденьем для летчика. Кабина окружена экраном, на котором воспроизводится визуальная картина. Для имитации перегрузок и угловых ускорений кабина устанавливается на платформу, которая может перемещаться вверх-вниз, поворачиваться вправо-влево и наклоняться. В соответствии с действиями летчика происходит изменение визуальной картины,

ощущаемых перегрузок и угловых ускорений. На тренажере возможна также имитация атмосферных возмущений.

Кабина тренажера (окруженная устройствами воспроизведения изображения и установленная на подвижную платформу) расположена в отдельном помещении. В другом помещении находится компьютер, с помощью которого воспроизводят, контролируют и записывают все аспекты моделируемого полета. Обучением на тренажере обычно руководит пилотинструктор. С помощью переговорного устройства он связывается с летчиком, находящимся в кабине тренажера. Инструктор может выполнять роль ведомого, наземного оператора, оператора управления полетом, а также ставить летчику различные задачи и усложнять их выполнение. Например, он может корректировать действия обучающегося летчика, имитировать перемещение цели, выпуск ракет класса «земля — воздух», появление других самолетов в поле зрения летчика и даже атаковать, внезапно изме-

нять погодные условия, вызывать неисправности в самолете, и вообще создавать настоящий хаос.

Каким образом осуществляется моделирование условий полета в системе тренажера? Первым шагом является построение модели земной поверхности, над которой совершается полет. Содержание и детали модели определяются тренировочной задачей. В самых первых тренажерах использовались модели аэродромов и авианосцев, поскольку эти тренажеры служили главным образом для отработки взлета и посадки. Впоследствии появились модели самолетов-заправщиков в «чистом» небе (для отработки дозаправки самолета в воздухе) и одного или более истребителей (для моделирования воздушного боя). В недавно разработанных тренажерах используются модели более протяженной земной поверхности, над которой совершается полет на малой высоте. На этой поверхности могут также моделироваться изображения различных целей, наблюдаемых с самолета или атакуемых им, запуски



ракет класса «земля — воздух» и, конечно, детали рельефа, представляющие опасность для самолета.

Моделирование начинается с концептуального описания, которое в настоящее время выполняется одним или двумя способами: с помощью физической модели (макета местности), над которой «летает» камера, или с помощью машинной программы, способной синтезировать и воспроизводить изображение.

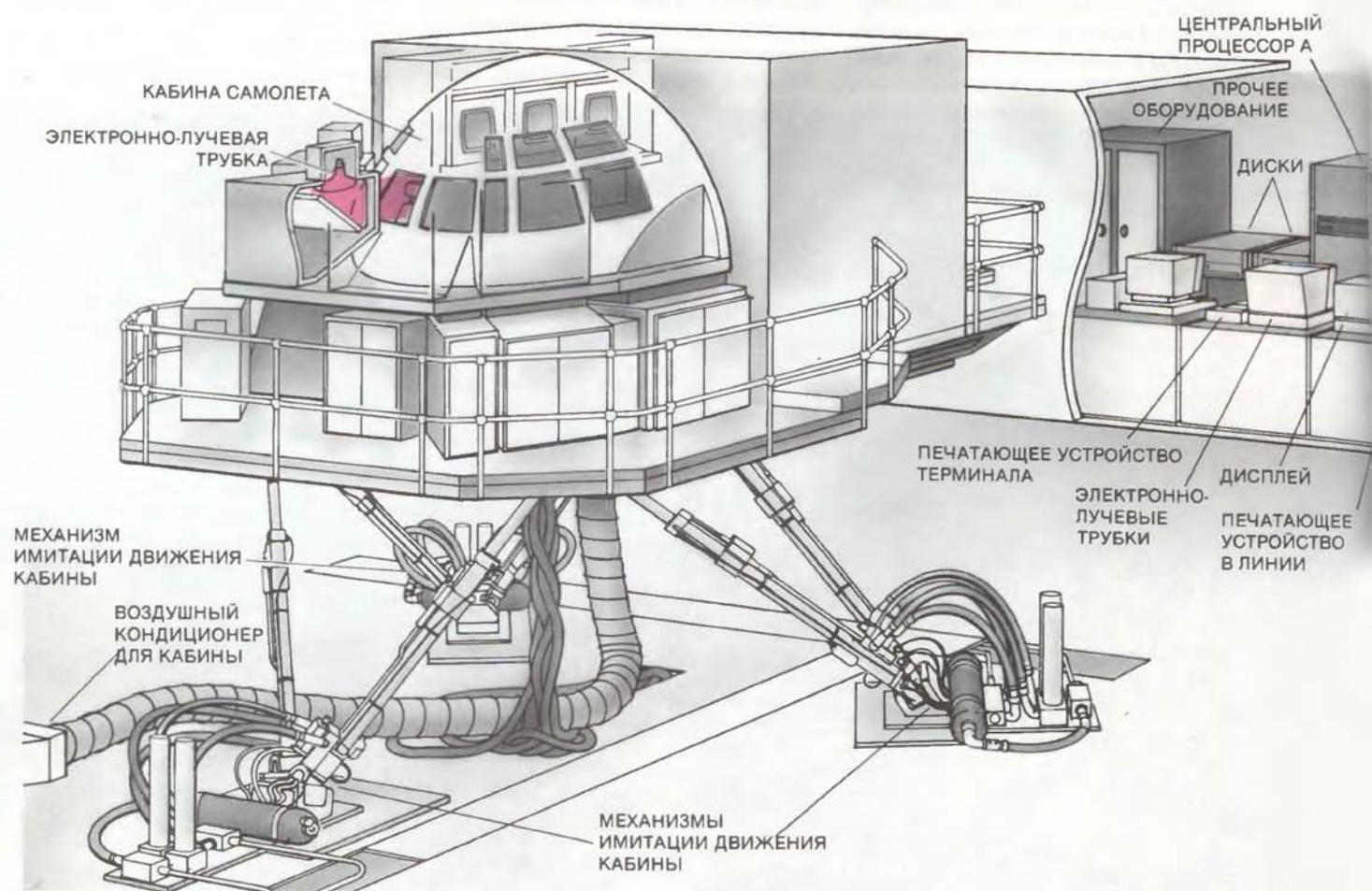
Типичный макет местности имеет размеры 9×18 м, а его площадь соответствует площади земной поверхности около $15,5 \text{ км}^2$. Органы управления в кабине тренажера соединены с высокоскоростными электродвигателями, которые вызывают перемещение видеокамеры над макетом, точно дублирующей «путь» самолета; при этом камера перемещается в масштабе модели.

Главное преимущество метода имитации визуальной картины с помощью макета местности состоит в

том, что он позволяет достичь очень высокого уровня детализации воспроизводимой местности; в этом с ним не может сравниться по существу ни одна система формирования изображения с помощью компьютера. Эффективность имитаторов с макетом местности ограничивается тем, насколько близко от ее поверхности могут перемещаться линзы камеры. Летчик в самолете на взлетно-посадочной полосе находится на высоте около 3 м от поверхности земли, что соответствует расстоянию около 1 см над поверхностью модели взлетно-посадочной полосы, выполненной в масштабе $300 : 1$; при установлении линз на таком расстоянии возникает опасность их повреждения. Кроме того, при столь малом расстоянии обычные линзы не обладают достаточной глубиной резкости и поэтому не обеспечивают необходимой четкости изображения, которая обычно существует в условиях реального полета. В настоящее время разра-

батываются способы решения обеих этих проблем с помощью лазерных считывающих сканирующих устройств.

Имитаторы с макетом местности дорогостоящи, имеют ограниченный размер воспроизводимой визуальной картины, и в нее трудно вносить какие-либо изменения. Кроме того, объекты, изображенные на макетах, остаются неподвижными и не разрушаются в клубах дыма, когда подвергаются атаке. Из-за малого размера этих моделей воспроизводимая ими картина легко запоминается при неоднократной отработке заданий на тренажере. Следовательно, такие модели эффективны для отработки летчиками повторяющихся заданий в условиях полета на малой высоте (в частности, для отработки посадки), полета над сложными районами цели или когда требуется высокая детализация земной поверхности, например при отработке режима висения вертолета.



АВИАЦИОННЫЙ ТРЕНАЖЕР состоит из кабины (слева) и аппаратной (справа). Кабина окружена проекционной поверхностью (показана как система электронно-лучевых трубок), на которой воспроизводится визуальная картина. Для имитации движения кабина установлена на платформе, которая может совершать движения вверх-вниз, пово-

рачиваться влево-вправо, а также наклоняться. При изменении положения органов управления содержание визуальной картины и ощущения движения меняются. В аппаратной находятся управляющий полетом компьютер и система записи. Отработкой задач на тренажере обычно руководит пилот-инструктор, поддерживающий связь с летчиком

СПОСОБ формирования изображения визуальной обстановки с помощью компьютера намного более универсальный, и он все чаще используется в тренажерах для обучения летчиков реактивных истребителей. Первым шагом моделирования визуальной картины в этом случае является создание концептуальной модели, подобной физической реальной модели, с тем, однако, исключением, что ее максимальный размер ограничивается объемом памяти компьютера и его быстродействием. Моделью определяются размер земной поверхности, особенности рельефа и наличие на этой поверхности объектов естественного и искусственного происхождения.

После того как модель запрограммирована и записана в памяти компьютера, необходимо, чтобы можно было воспроизводить любую ее часть, соответствующую визуальной картине, наблюдаемой в данный момент летчиком из кабины самолета.



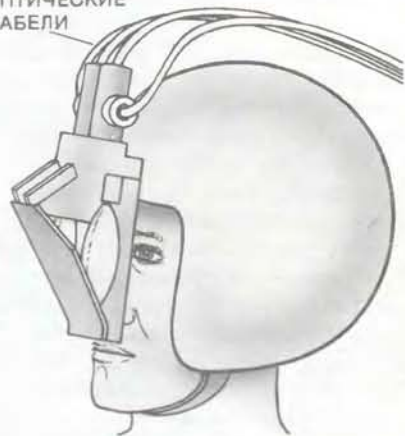
по переговорному устройству. Тренажер С-13ОН, изображенный на рисунке, в настоящее время находится в стадии разработки в отделении Link Flight Simulation компании Singer.

Для этого требуется программа, позволяющая вычислить положение каждой части модели по отношению к положению самолета. В любой момент времени значительная часть картины обычно невидима, включая то, что находится за самолетом, очень далеко впереди него, или то, что скрыто за более крупными объектами или особенностями рельефа на линии видимости.

Для видимых особенностей земной поверхности программа позволяет вычислить проекцию, соответствующую углу ее рассмотрения из кабины самолета. Например, когда траектория самолета проходит над ровным квадратным пшеничным полем, летчик не будет воспринимать его как квадратное. С расстояния прямо по курсу самолета оно выглядит в перспективе: дальняя его граница кажется короче ближней, а две боковые границы сходятся в одну точку на горизонте. По мере приближения самолета к полю боковые его границы удлиняются и кажутся более параллельными, а само поле выглядит менее трапециевидным. Действительно квадратным поле будет восприниматься только в том случае, когда самолет будет находиться непосредственно над ним и летчик будет видеть одновременно все четыре его границы, однако это возможно лишь тогда, когда самолет пикирует на цель в центре поля. Геометрические преобразования поверхности в зависимости от точки наблюдения хорошо известны, однако различные системы моделирования визуальной картины с помощью компьютера используют неодинаковые процедуры при выполнении этих преобразований.

Основным преимуществом таких систем до сих пор являлась возможность моделирования и воспроизведения изображения земной поверхности неограниченного размера. Если макеты местности соответствуют площади земной поверхности лишь в несколько квадратных миль, то компьютерные системы моделирования могут охватывать полный небосвод и всю поверхность земли (с любыми особенностями рельефа — от пустынь до гор), видимую с самолета и имеющую площадь в сотни квадратных миль. Теоретически программа может быть записана для любого уровня детализации земной поверхности, однако на практике, чем больше деталей (листья на деревьях, знаки на зданиях, дороги и автодороги, скалы в горных районах) и т. д., тем больше требуется компьютеру времени для моделирования любой визуальной картины, включающей такие детали. Поскольку программа должна фор-

ВОЛОКОННО-
ОПТИЧЕСКИЕ
КАБЕЛИ



ПРОЕКЦИОННАЯ ПОВЕРХНОСТЬ может также укрепляться на шлеме летчика. Изображение передается от проектора, расположенного сзади летчика, по паре волоконно-оптических кабелей. Система находится в стадии разработки.

мировать изображение земной поверхности (модель земной поверхности), над которой происходит полет, в реальном масштабе времени, уровень детализации ограничивается объемом памяти компьютера, его быстродействием и способностью быстро обновлять картину с учетом текущей информации. Это особенно важно в случае, когда полет совершается на малой высоте. Даже если бы системы моделирования визуальной картины с помощью компьютера в принципе позволяли достигнуть такого же высокого уровня детализации, как и имитаторы с макетом местности, ни одна из таких систем, существующих ныне, не обеспечивала бы изменение ситуации в реальном масштабе времени, которое, в частности, соответствовало бы полету с большой скоростью на малой высоте.

ДЛЯ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ визуальной картины, построенной с помощью макета местности или компьютера, в большинстве тренажеров используются растровые электронно-лучевые трубки, подобные обычным телевизионным трубкам. В простом тренажере самолета с узким передним полем зрения используется только одна электронно-лучевая трубка, установленная перед летчиком. Однако в кабинах большинства истребителей обеспечено широкое поле зрения. Для построения визуальной картины в соответствующих им тренажерах устанавливается ряд отдельных экранов: впереди, над, слева, справа и даже за головой летчика.

Получение изображения с помощью электронно-лучевой трубки

основано на быстром освещении дискретных точек (пиксел), расположенных вдоль строк развертки. Трубки обычных телевизоров в США имеют стандартное число горизонтальных строк развертки, равное 480, независимо от размера экрана. На каждой строке развертки имеется 640 пиксел, освещаемых электронной пушкой, луч которой движется вдоль строки. Чтобы уменьшить эффект мерцания при последовательном освещении дискретных точек, сначала освещаются пикселы на четных строках, начиная с нижнего левого угла экрана. При этом луч сначала пробегает последовательно 240 нечетных строк (за 1/60 с), а затем 240 четных строк (также за 1/60 с). Все пикселы, необходимые для воспроизведения картины, освещаются в течение секунды 30 раз, чем определяется величина, известная как скорость обегания.

В электронно-лучевых трубках, используемых в авиационных тренажерах, число строк развертки может быть от 300 до 1024, а число пиксел в одной строке — от 512 до 1024. От обоих этих чисел зависит разрешающая способность трубки, т.е. способность передавать в изображении мелкие детали, различимые глазом. Разрешающая способность трубки определяется расстоянием между пикселями в соотношении с расстоянием, с

которого наблюдается воспроизводимая на экране картина. При постоянном числе строк и пикселов в одной строке разрешающая способность электронно-лучевой трубки уменьшается с увеличением размера экрана пропорционально расстоянию, с которого он наблюдается. Иными словами, трубка, рассчитанная на малый угол обзора, может иметь довольно высокую разрешающую способность, т.е. на ее поверхности будут различимы мелкие детали. С увеличением же угла обзора разрешающая способность трубки уменьшается. Для повышения разрешающей способности в тренажерах применяется система смежно установленных и не зависящих друг от друга электронно-лучевых трубок. В тренажере истребителя F-16 в настоящее время используется семь трубок с размером экрана 36 дюймов, обеспечивающих поле зрения в 300° по горизонтали и 150° по вертикали.

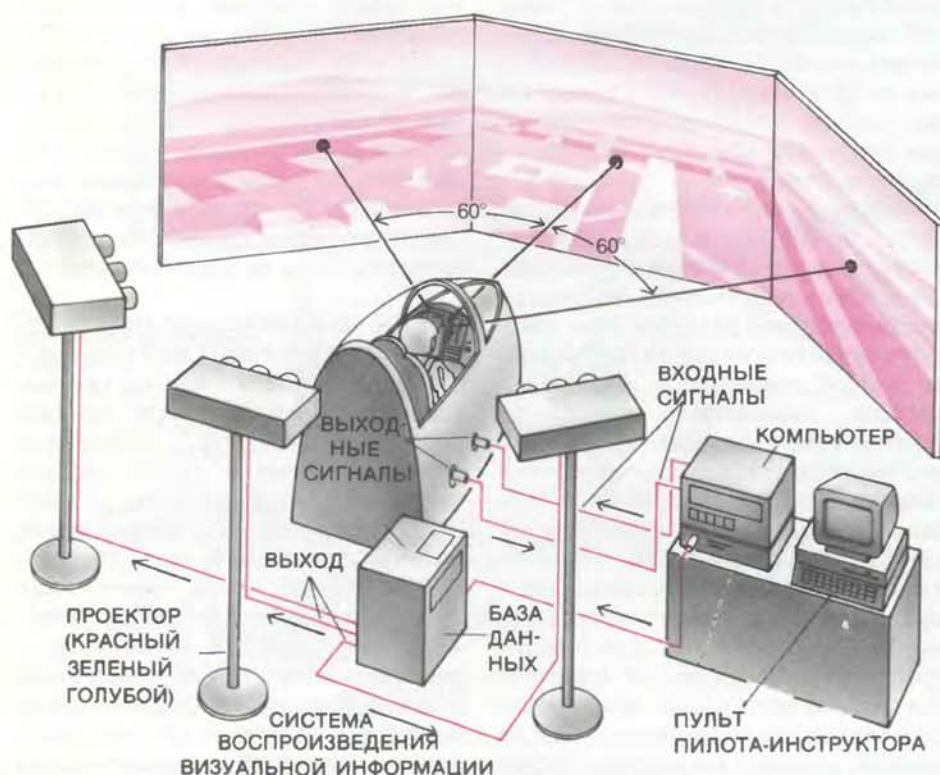
Яркость изображения зависит как от яркости свечения трубки, так и от природы оптических элементов, помещенных между поверхностью экрана и пилотом. При наблюдении реальной картины из кабины истребителя ее детали воспринимаются с оптической бесконечности. Поэтому в тренажере между трубкой и летчиком устанавливаются коллиматорные

линзы, собирающие лучи света в параллельный пучок так, как если бы они отразились от удаленных объектов. Картина на поверхности каждой трубки воспроизводится на рассеивающем экране. По сравнению с нормальной яркостью света внутри помещения, равной примерно 50 кд/м², сила света, излученного трубкой в тренажере F-16, составляет около 100 кд. Однако коллиматорные линзы и рассеивающий экран поглощают свет настолько, что сила света, достигающего глаз летчика, равна примерно 1 кд, что ближе к уровню яркости света в сумерки, чем при полной луне. Поскольку глаза летчика легко адаптируются к такому уровню яркости, то он вполне сможет рассмотреть все детали на экране. К сожалению, низкий уровень яркости накладывает ограничение на контрастность изображения, поэтому на моделируемой картине трудно воспроизводить объекты, близкие к нижнему порогу видимости.

ХОТЯ в настоящее время электронно-лучевые трубки используются для моделирования визуальной картины на большинстве авиационных тренажеров, существуют еще две другие системы, применяемые с той же целью. В одной из них визуальная картина проектируется на панорамный киноэкран, установленный перед летчиком. Эта система позволяет немного повысить разрешающую способность и яркость по сравнению с электронно-лучевыми трубками, в остальном же она имеет подобные характеристики.

В другой системе проекционная поверхность укрепляется на шлеме летчика. Эта система только что создана, и несколько ее конструктивных вариантов находятся в стадии испытания. Изображение в ней формируют две миниатюрные электронно-лучевые трубки, также укрепленные на шлеме летчика, либо оно передается от проектора, находящегося сзади пилота, по двум волоконно-оптическим кабелям. После доработки эта система, видимо, будет самой дешевой благодаря небольшому размеру. Хотя компьютер этой системы и проекционное оборудование такие же, как и в других типах тренажеров, она не требует внешнего экрана или батареи громоздких электронно-лучевых трубок, поскольку целиком уместится на шлеме пилота.

Вследствие того что эта система отличается гораздо большей разрешающей способностью и яркостью, теоретически она обладает значительными преимуществами по сравнению с другими системами. Кроме



ПРОЕКЦИОННЫЕ ЭКРАНЫ для воспроизведения визуальной картины могут использоваться вместо электронно-лучевых трубок. Размеры аппаратной в этом случае невелики; для управления тренажером в ряде случаев достаточно одного микрокомпьютера.

того, в этой системе визуальная информация «подводится» к каждому глазу пилота по отдельному каналу. Результаты исследования показывают, что такой бинокулярный принцип позволяет пилоту воспринимать глубину изображения, а также то, что информация о глубине изображения тоже воспринимается бинокулярно; такая информация не обеспечивается ни в одном из современных тренажеров.

СИСТЕМЫ моделирования визуальной картины с помощью компьютера и средства ее воспроизведения вполне подходят для отработки таких задач, как дозаправка в воздухе, групповой полет и воздушный бой, поскольку в каждой из этих задач используется изображение только одного или двух самолетов на фоне «чистого» неба. Однако при моделировании всех аспектов полета на малой высоте, включая обнаружение цели, атаку наземных целей с воздуха, уклонение от визуального и радарного слежения за самолетом на бреющем полете, поддержку и разведывательный полет, возникают серьезные проблемы, связанные с воспроизведением изображения деталей.

Проблемы воспроизведения визуальной картины, соответствующей полету на малой высоте, обусловлены двумя независимыми причинами: необходимостью высокого уровня детализации, с тем чтобы летчик мог правильно оценивать высоту и маневренное пространство (для этого требуется высокая разрешающая способность), и быстрым изменением деталей земной поверхности в соответствии с перемещением точки наблюдения с большой скоростью (что требует быстрого обновления визуальной картины с учетом текущей информации). Необходимость в воспроизведении деталей связана с тем, что земная поверхность не является ровной мат-

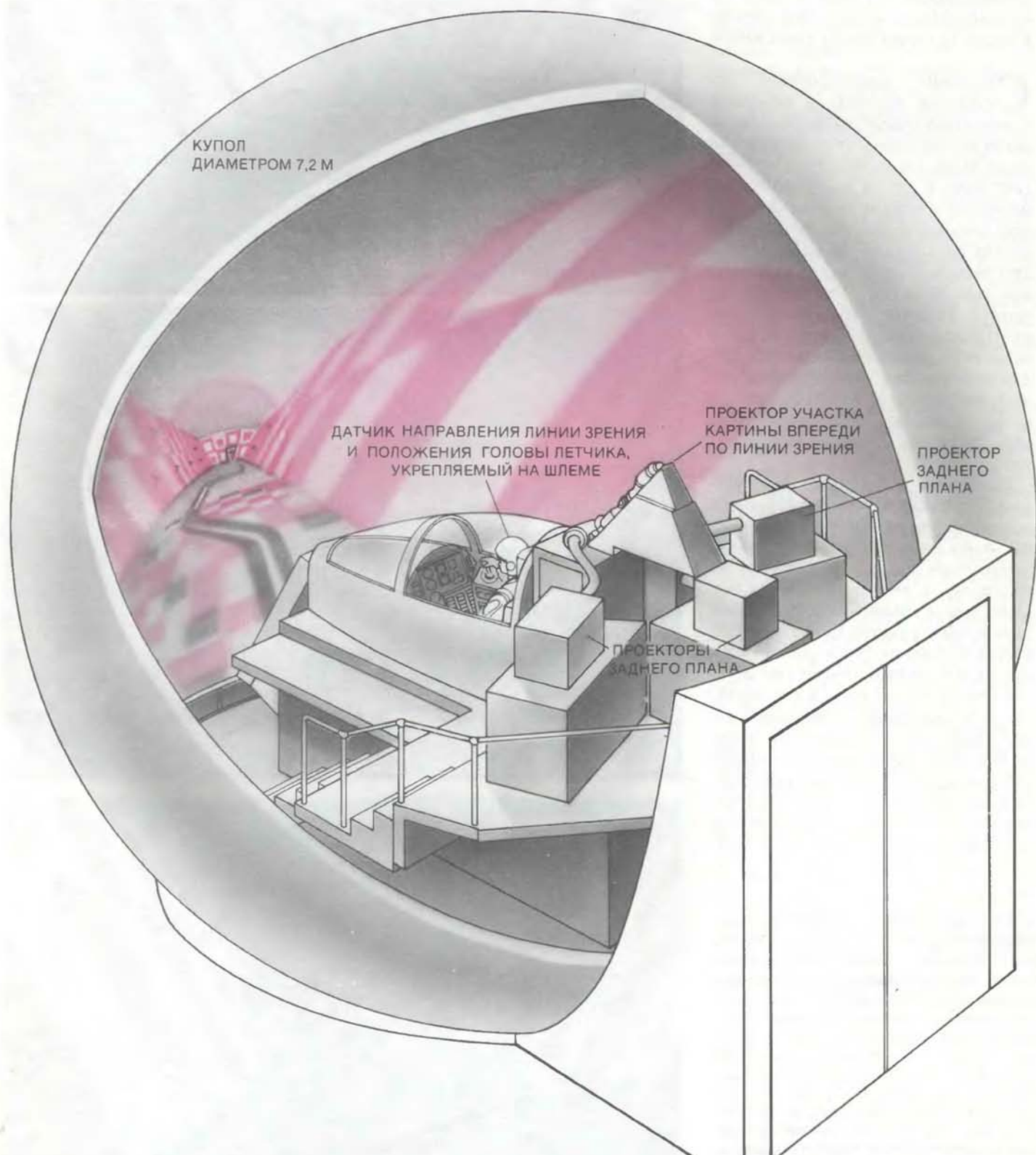
БОЛЕЕ ВЫСОКИЙ УРОВЕНЬ воспроизведения деталей визуальной картины в тренажере может быть достигнут за счет использования в системе воспроизведения изображения дополнительного канала сверхвысокого разрешения. Положение глаз или головы летчика в каждый момент времени и соответствующее ему направление линии зрения определяется с помощью специальных датчиков. Участок картины впереди по линии зрения исключается из заднего плана (в *середине*) и воспроизводится с большим разрешением (в *низу*) с помощью канала сверхвысокого разрешения. В целом изображение остается единым, детали же впереди по линии зрения видны отчетливее.



ричной поверхностью, как, например, шахматная доска. Представление ее в таком виде содержало бы мало информации о неровностях. Без достаточного числа деталей и объектов, добавленных к визуальной картине, пилоту трудно судить о высоте, а также о том, может ли он безопасно мино-

вать возвышения или препятствия. Если отрабатываемая им задача состоит в том, чтобы выполнять бреющий полет как можно ближе к земле и не дать тем самым обнаружить себе, то высокий уровень детализации визуальной картины становится чрезвычайно важным условием.

В настоящее время существуют три подхода к проблеме достижения высокого уровня детализации, соответствующего полету на малой высоте. Поскольку большинство компьютерных систем формируют детали земной поверхности с помощью прямых или кривых линий, то один из



ТРЕНАЖЕР СО СФЕРИЧЕСКИМ ЭКРАНОМ сооружается отделением Link Flight Simulation компании Singer. Поле зрения в тренажере достигает 270° по горизонтали и 138° по вертикали. Участок визуальной картины впереди по линии

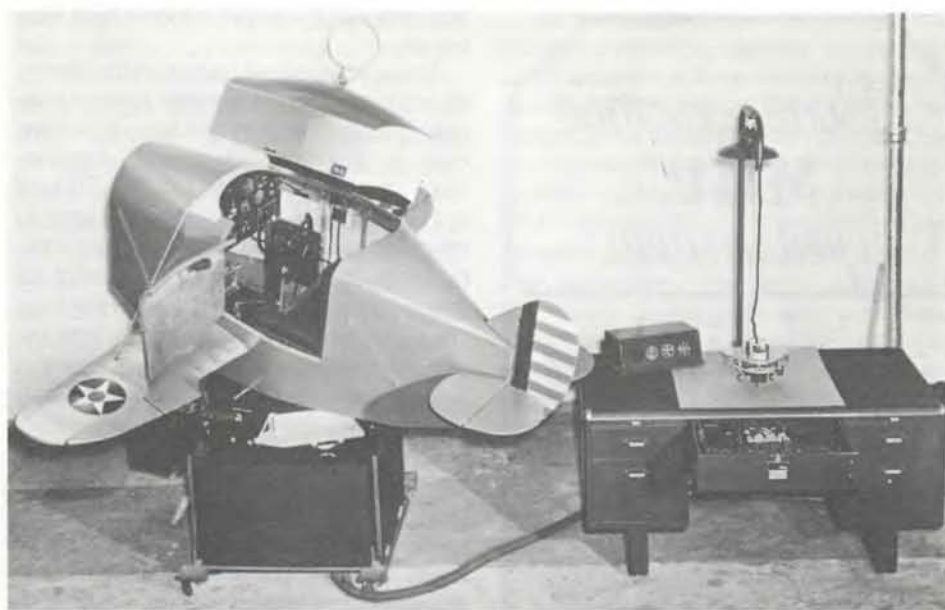
зрения воспроизводится четче, чем остальная часть картины (см. также рисунок на с. 69). Периферийные изображения воспроизводятся с помощью проекторов заднего плана.

подходов состоит в воспроизведении большего числа линий в реальном масштабе времени. Этот подход широко используется в настоящее время. Имеющиеся коммерческие компьютерные системы позволяют «генерировать» в 10 раз больше линий, чем пять лет назад; предполагается, что через пять лет число воспроизводимых на визуальной картине линий увеличится еще в 10 раз.

Второй подход заключается в использовании в системе воспроизведения визуальной картины дополнительного канала сверхвысокого разрешения, «перемещающегося» в соответствии с направлением линии зрения летчика, которое определяется с помощью датчика положения его глаз или головы. Участок визуальной картины впереди по линии зрения воспроизводится при этом (с помощью электронных или механических устройств) с гораздо большим разрешением, чем остальная часть картины. Это может быть осуществлено, если вместо использования электронно-лучевых трубок, каждая из которых «покрывает» квадрат в 90° , добавить канал высокого разрешения к трубке, соответствующей квадрату в 30° , и тем самым повысить разрешающую способность в три раза. Перекрываемый участок изображения исключается из заднего плана с тем, чтобы было видно одно единое изображение; при этом часть картины впереди по линии зрения будет воспроизводиться на много четче.

Третий подход зависит от того, какие требуются виды деталей, а также от способа их воспроизведения. В конечном итоге этот подход будет наиболее эффективным, однако в настоящее время пока проводятся только исследования в этом направлении, поэтому я могу осветить лишь некоторые аспекты. Как показывает исследование, разные источники информации имеют неодинаковое значение в зависимости от того, насколько важна для летчика та или иная информация при отработке данной задачи. Например, в условиях полета на малой высоте с большой скоростью линии изображения, используемые для обозначения особенностей земной поверхности, менее важны, чем линии, указывающие на изменение относительного положения. Иными словами, информация об относительном движении деталей земной поверхности может иметь большее значение по сравнению с информацией об особенностях земной поверхности.

Условия полета на малой высоте предъявляют особые требования к системам моделирования визуальной картины с помощью компьютера.



ПЕРВЫЙ ТРЕНАЖЕР, использовавшийся во время второй мировой войны. Тренажеры разрабатывались преимущественно в военных целях.

Скорость обегания в электронно-лучевой трубке равна 60 с^{-1} , т.е. содержание визуальной картины полностью меняется каждые 16 мс. Поскольку сама картина также меняется, компьютер должен обновлять воспроизводимую информацию, чтобы отразить новые положения каждого объекта на этой картине, как ее воспринимает пилот. Доступные в настоящее время скорости обновления информации по всей визуальной картине недостаточны для моделирования условий полета на малой высоте с большой скоростью. Эти проблемы помогут решить компьютеры с большим объемом памяти и более высоким быстродействием, однако при этом потребуются также более совершенные системы воспроизведения визуальной информации.

В РЕАЛЬНОМ полете летчик ощущает движение самолета как визуально, так и по изменению действующих на него сил, возникающих при поворотах, наборе высоты, пикировании и в результате атмосферных возмущений. Эти ощущения возникают при визуальном восприятии движения и в результате изменения сил, действующих на вестибулярный аппарат человека, расположенный во внутреннем ухе. Большинство движений можно воспринимать только визуально; в этом случае отпадает необходимость моделирования сил на тренажерах. Однако, поскольку в реальном полете пилот всегда воспринимает такую информацию, во многих авиационных тренажерах используется платформа, движение которой оказы-

вает действие на вестибулярный аппарат.

Человек, движущийся с постоянной скоростью, воспринимает движение только за счет изменения видимых размеров предметов и их относительного положения. Вестибулярный аппарат способен воспринимать только движение с ускорением, т.е. изменения в скорости движения. Эти изменения могут быть в направлении «грудь — спина» человека, например такие, которые ощущаются в машине или самолете при их ускоренном или замедленном движении. В гоночном автомобиле в момент быстрого старта может возникнуть перегрузка, соответствующая дополнительному g (ускорение свободного падения), иными словами, вес водителя в момент старта автомобиля может увеличиться в два раза. При взлете авиалайнера «Боинг-727» перегрузка достигает 1,5g.

При ускоренном движении вдоль вертикальной линии, например при ускорении или замедлении лифта, также возникают дополнительные силы. Когда самолет начинает набирать высоту или совершает разворот, летчик ощущает, как его тело вдавливаются в сиденье (дополнительное g положительно), когда же самолет начинает пикировать, тело пилота стремится оторваться от сиденья (дополнительное g отрицательно). В реактивном истребителе наибольшие перегрузки возникают при разворотах. Как и в случае увеличения веса ведра, привязанного к веревке, с увеличением скорости вращения, увеличивается вес летчика в самолете, выполняю-

Издательство МИР предлагает:

С.И. Томкеев

ПЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ АНГЛО-РУССКИЙ ТОЛКОВЫЙ СЛОВАРЬ

В 2-х томах

Перевод с английского

Петрологический словарь, составленный известным английским геологом русского происхождения С.И. Томкеевым, представляет собой весьма интересную и очень полезную книгу. Привлекательность работы С.И. Томкеева связана прежде всего с очень высокой профессиональной и общей культурой автора, являющегося не только одним из крупнейших геологов первой половины нашего века, но и человеком с весьма разнообразными интересами, в том числе в области истории, литературы, лингвистики и т.д.

В словаре приводятся четкие краткие определения примерно 8000 терминов, хорошо раскрыта номенклатура горных пород и охарактеризованы принятые в петрографии понятия. Это уникальное издание содержит толкование также весьма редких терминов, которые нельзя найти в других справочниках. В соответствии со своим принципом — опираться в первую очередь на первоначальный смысл термина, С.И. Томкеев в отличие от большинства современных авторов включает в сферу петрологии и осадочные образования. Помимо собственно словаря в рассматриваемой книге имеются систематические таблицы, где термины сгруппированы по предметам исследования, так что словарь может быть использован как тезаурус.

Для геологов, преподавателей, аспирантов и студентов всех геологических специальностей и переводчиков геологической литературы.

1986, 88 л. Цена 6 р.95 к.



шем крутой разворот на большой скорости.

Такие изменения также выражаются через g . В аттракционе «американские горы» перегрузки могут достигать $+4g$ на самых крутых поворотах, в истребителе F-16 — более $+11g$ во время выполнения им крутого разворота. При этом вес пилота, равный, скажем, 90 кг, увеличится до 990 кг, а шлем весом в 1,8 кг станет весить 19,8 кг. Хотя развороты, при которых возникают перегрузки, достигающие $+11g$, выполняются редко, развороты, сопровождаемые перегрузками от $+6g$ до $+9g$, — обычное явление.

Для того, чтобы пилот мог ощущать перегрузки как и в реальном полете, кабина тренажера должна совершать движения, чтобы имитировать изменения высоты или скорости самолета. В НАСА была построена центрифуга для имитации перегрузок, превышающих $+10g$, которые испытывает астронавт во время старта ракеты и ее возвращения на Землю. Теоретически возможно установить кабину истребителя в такую центрифугу, однако это обойдется чрезвычайно дорого и вряд ли окажется целесообразным.

Обычно кабина самолета устанавливается на платформе, приводимой в движение с помощью гидравлических поршней. Перемещение платформы редко бывает более 0,6 м в любом направлении, а имитируемые перегрузки не превышают $1,8g$, что соответствует самому началу изменения скорости движения. С помощью подвижной платформы можно получить больше информации о движении, чем без нее, однако имеется мало данных, свидетельствующих о том, что использование платформы улучшает летные показатели в тренажере. Однако при отработке полета по приборам (т.е. в условиях тумана или высокой облачности) ощущения даже минимальных движений платформы являются для летчика источником информации.

Относительно недорогой и эффективный метод имитации перегрузок (положительных g) основан на использовании надувного костюма. Этот костюм охватывает нижнюю часть туловища и действует подобно резиновой манжете в приборе для измерения кровяного давления. В момент положительных перегрузок увеличивается кровяное давление и уменьшается приток крови к верхним частям туловища. Даже если тренажер установлен на подвижной платформе при отработке задачи, в которой требуется имитировать перегрузки, в костюме создают повышенное давление, вызывающее у летчика

ощущение, схожее с тем, когда самолет набирает высоту или совершает разворот.

ПРИМЕНЕНИЕ авиационных тренажеров, естественно, может быть оправдано экономией топлива и отсутствием затрат на обслуживание самолетов. Расходы на топливо и обслуживание самолета в период выполнения тренировочных полетов на истребителе F-16 составляют 5000 долл/ч, тогда как «полет» на тренажере F-16 обходится дешевле более чем в 10 раз. Более важным является то, что «авария» при отработке задания на тренажере ничего не стоит и отсутствует также опасность гибели пилота и уничтожения самолета.

Однако основной аргумент в пользу тренажеров не связан ни с проблемами затрат, ни с вопросами безопасности. Этот аргумент состоит в том, что на тренажерах можно эффективно отрабатывать действия в таких ситуациях, которые нельзя воспроизвести при выполнении тренировочных полетов на настоящем самолете. Например, на тренажере летчик может выработать у себя реакцию, необходимую для выполнения быстрых и правильных действий в неожиданных и опасных ситуациях. Когда самолет DC-10 потерял двигатель при взлете, его экипаж не имел опыта действий в условиях резкого уменьшения устойчивости и подъемной силы, обусловленного внезапным снижением мощности и повреждением крыла. Воссоздать такие условия на реальном DC-10, естественно, нельзя, однако влияние подобных изменений на аэродинамику этого самолета можно легко смоделировать на тренажере, и тем самым летчик получит возможность научиться правильно действовать в такой ситуации. Тренажер позволяет также моделировать множество различных неисправностей в самолете и неожиданных опасных условий, в которых летчик должен уметь правильно действовать.

На тренажере выше и скорость обучения. Как показало исследование, некоторые летные задачи отрабатываются быстрее и на более высоком уровне, если компоненты этих задач осваиваются отдельно или в порядке, отличном от естественного. Например, было показано, что летчики лучше обучаются сажать самолет, если они сначала отрабатывают окончательный этап посадки, не поднимаясь в воздух для отработки начальных ее этапов.

Тренажер позволяет также значительно увеличить число повторений отрабатываемой задачи. При отработке воздушного боя на настоящем самолете летчик может в течение лет-

ного часа участвовать в учебном бою только 3—4 раза, даже если каждое его участие длится всего 1 минуту. На тренажере за 1 час можно отрабатывать 20—30 воздушных боев. Другим примером является обучение посадке самолета. В реальных условиях 95% времени, затрачиваемого на отработку этой задачи, расходуется на полет по кругу и выруливание самолета. На тренажере все это исключается, и в течение одного летного часа можно совершить до 20 посадок.

Некоторые авиационные тренажеры оборудованы устройствами «фиксации и повтора». Если инструктор видит, что летчик допустил ошибку, то он может «зафиксировать» положение самолета, обсудить и проанализировать с летчиком ошибку, прежде чем тот продолжит полет. После окончания полета вся последовательность действий воспроизводится с помощью компьютера, повторяющего полет так, как его выполнял летчик.

Моделируемая визуальная картина может содержать дополнительную информацию (отсутствующую в реальной картине), которая помогает обучающемуся летчику выработать у себя пространственное восприятие. Например, при полете на малой высоте летчику поначалу обычно трудно оценить высоту наземных объектов или контуров земли. Здесь ему помогут искусственные указатели высоты, пока он не выработает у себя «внутреннюю шкалу». Постепенно эти указатели можно будет убрать.

Опыт ВВС США во второй мировой войне, в Корее, на Ближнем Востоке и во Вьетнаме также свидетельствует о целесообразности применения тренажеров. Наибольшие потери наблюдаются исключительно среди летчиков, совершивших всего пять или менее боевых вылетов; вероятность же вернуться невредимым из шестого и последующих полетов увеличивается более чем до 95% независимо от количества дополнительных боевых вылетов. Эти цифры показывают, что если бы все пилоты могли предварительно отработать боевые вылеты с эквивалентными условиями на тренажере, это привело бы к резкому сокращению потерь.

Тренажеры могли бы также облегчить сравнение различных учебных программ, что обычно представляет собой большую сложность, связанную с высокими затратами и риском. О достоинствах и недостатках каждой из программ можно судить в ходе их выполнения на тренажерах. Это дало бы возможность установить, какие компоненты существующих учебных программ наиболее эффективны, а также проверить новые идеи и про-

цессы. Последнее имеет особое значение тогда, когда проверяемые процессы являются только частью длительного цикла обучения. Наконец, еще один аргумент в пользу тренажеров не имеет отношения к проблеме обучения летчиков. Описанные здесь тренажеры являются лучшими из существующих ныне устройств, используемых для исследования многих аспектов зрительного восприятия. Нужно ли стереоскопическое зрение при расстояниях около 30 м? Сколько информации «сообщает» движущемуся человеку периферийное зрение? Может ли эта информация обрабатываться автоматически, без нарушения фокусировки на мишенях, расположенных впереди.

На эти вопросы психологи уже пытались ответить, однако до настоящего времени в большинстве исследований используются либо слабое лабораторное проявление стимулов, либо стационарные объекты и стационарные наблюдатели. На авиационном тренажере обеспечен гораздо лучший контроль проявления стимулов движения, при этом возможно движение по картине или над ней. Очевидно, что ответы на эти вопросы помогут усовершенствовать конструкцию тренажеров. Более важным, однако, является то, что они позволят значительно расширить наши представления о том, как человек воспринимает окружающую его среду.

Издательство МИР предлагает:

ХРОМАТОГРАФИЯ ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ МЕТОДА

В двух частях
Под редакцией Э. Хефзмана
Перевод с английского

Книга посвящена хроматографии — важнейшему современному аналитическому методу, который широко используется в научных исследованиях и в промышленности для контроля и управления технологическими процессами. В практическом аспекте рассматриваются все основные хроматографические методы: жидкостная, плоскостная, газовая, ионообменная хроматография, гель-хроматография, электрофорез.

Книге предпослано предисловие-рекомендация лауреата Нобелевской премии Г. Сиборга.

Для специалистов в области химии, биохимии, медицины, фармацевтической промышленности, для служб по охране окружающей среды.

Из отзыва профессора В. Г. Березкина: «Быстрое развитие хроматографических методов приводит к существенному

изменению используемых на практике методов и к изменению методик, применяемых в анализе химических соединений определенного класса. Поэтому для аналитика-хроматографа, пожалуй, в большей мере, чем для работающего в другой области аналитической химии, необходимо внимательно следить за появлением и практическим использованием новых методов и аналитических приемов в хроматографии. Ценную помощь в этом направлении хроматографу могут оказать монографии, в которых рассматривается как современное состояние метода, так и его приложение к важнейшим классам химических соединений. Данная монография, вышедшая в издательстве «Эльзевир» четвертым изданием, полностью отвечает этим задачам».

1986, 54 л. Цена комплекта 3 р. 60 к.



Кутикула членистоногих

Этому сложно устроенному покрову тела членистоногие во многом обязаны своей высокой приспособленностью.

Узнавая больше о строении и химическом составе кутикулы, мы лучше понимаем, как она выполняет защитную и опорную функции

НЕЙЛ ХЭДЛИ

ТИП ЧЛЕНИСТОНОГИХ превосходит все другие группы животных по числу видов и их разнообразию. Членистоногие, которые включают ракообразных (крабы, омары, мокрицы), насекомых (осы, пчелы, муравьи, жуки), паукообразных (пауки, скорпионы, клещи), многоножек и несколько менее обширных групп, составляют примерно 80% всех известных видов животных. Они распространены повсеместно, занимая все возможные типы экологических ниш. Членистоногие успешно освоили водную среду и стали первыми животными, заселившими сушу. Членистоногие — единственная группа беспозвоночных, представители которой способны летать и успешно адаптироваться к самым разнообразным наземным местообитаниям.

Ключевым фактором, обусловившим феноменальный расцвет этого типа животных, обладающих сегментированным телом, членистыми конечностями и крепким наружным скелетом, явилась их кутикула. Кутикула выполняет функции скелета, служит покровом тела и конечностей; у многих насекомых из нее образованы крылья. Она также выстилает трахеи, протоки различных желез и органы чувств, передние и задние отделы пищеварительного тракта. Кутикула осуществляет опорную функцию; к ней прикреплены мышцы. Наконец, она играет роль барьера между организмом и окружающей его средой. Одна из наиболее важных функций кутикулы — ограничение потери воды организмом — и обеспечила возможность перехода членистоногих от водного образа жизни к наземному. Кутикула может быть жесткой либо мягкой. Многие ракообразные и жуки, например, имеют толстую, жесткую кутикулу, подобную панцирю, тогда как мягкотелые личинки многих членистоногих покрыты тонким и гибким экзоскелетом.

В связи с тем что кутикуле принад-

лежит столь важная роль в эволюции типа членистоногих, который успешно существует на протяжении многих миллионов лет, ученые всего мира уже не одно десятилетие занимаются исследованием ее свойств. Особенно интересные результаты получены в последние 15 лет — прежде всего благодаря достижениям микротехники, которая позволила в той или иной степени ответить на следующие существенные вопросы. Какова тонкая структура кутикулы, определяющая ее свойства? Каков химический состав основных компонентов кутикулы и как они в ней организованы? Как все эти особенности влияют на функцию кутикулы?

В ПЕРВЫХ исследованиях, проведенных с помощью светового микроскопа, было обнаружено, что в структуре кутикулы можно выделить две основные части — тонкий верхний слой, известный под названием эпикутикулы, и более толстый слой, называемый прокутикулой. Эти слои покоятся на гиподерме, образованной одним слоем клеток, которые и секретируют кутикулу. Гиподерма вместе с кутикулой составляют интегумент, или наружный покров тела.

Но тонкая структура кутикулы стала доступной для изучения, лишь когда появились электронный микроскоп и специальные методы подготовки образцов для микроскопирования. Среди ученых, широко использовавших электронную микроскопию, особенно просвечивающую, можно назвать Э.Невилла из Бристольского университета, М.Лока из Университета Западного Онтарио, Б.Филли из Научно-технической исследовательской организации Содружества Наций в Австралии и И.Булигана из Высшей нормальной школы в Париже.

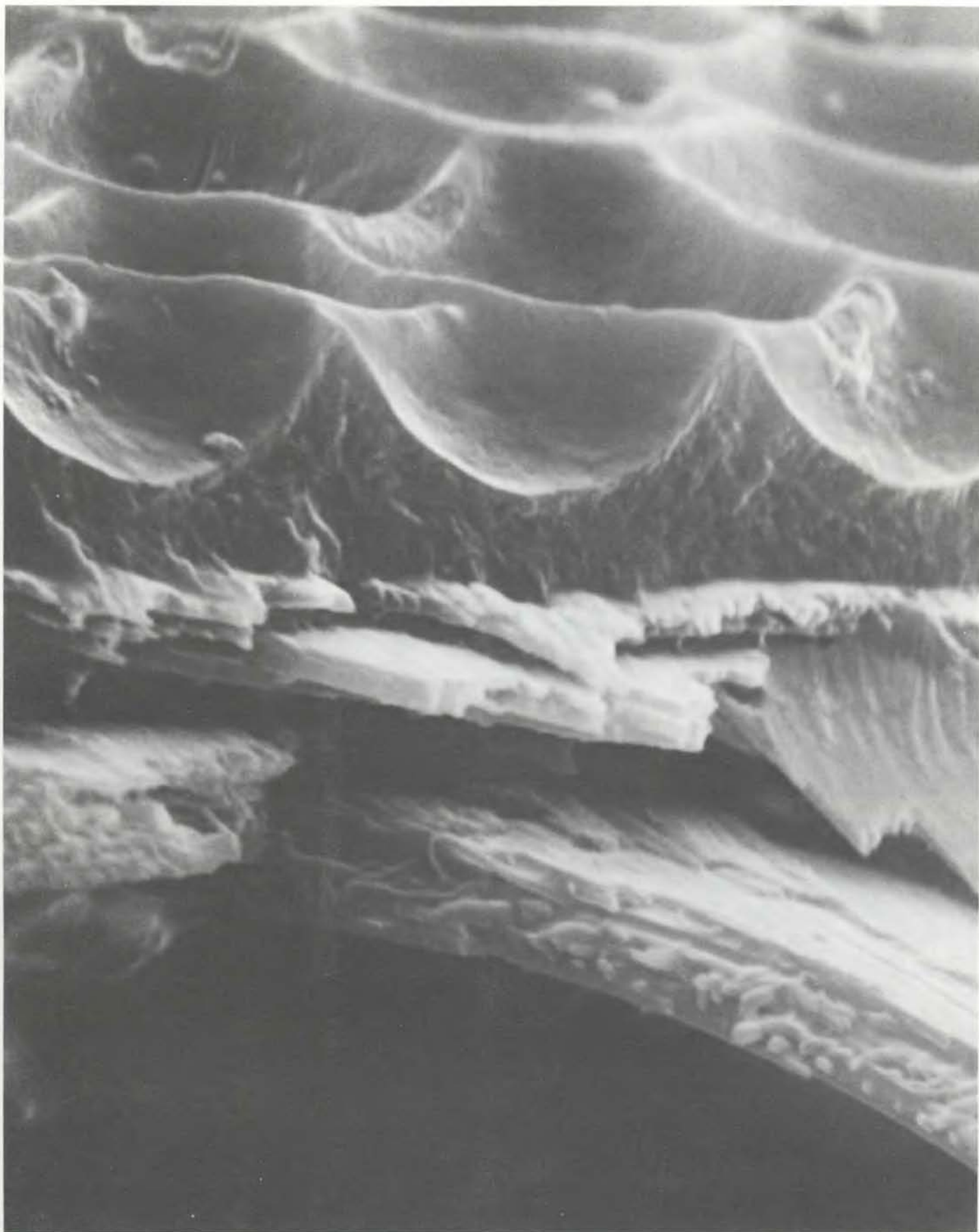
Эпикутикула, роль которой у большинства членистоногих заключается в первую очередь в обеспечении способности удерживать воду в организ-

ме, состоит по меньшей мере из двух слоев, хотя ее толщина всего лишь 0,1—3 мкм. У некоторых видов в эпикутикуле имеется 5 слоев, но у всех членистоногих она непременно содержит два основных слоя — наружный, кутикулин, и внутренний, собственно эпикутикулу, на долю которой приходится более 90% всей эпикутикулы.

Поверхность эпикутикулы представляет собой поразительно зрелище. С помощью сканирующего электронного микроскопа, дающего трехмерное изображение, на ней можно увидеть богатейший микрорельеф. Наиболее обычный рисунок — повторяющиеся многоугольники, часто это шестиугольники, со слегка приподнятыми краями. Такая относительно плоская поверхность выглядит блестящей и нередко встречается у видов с предупреждающей окраской. В других случаях имеются микроструктуры различного характера (бугорки, шипики, складки), которые частично или полностью маскируют собой многоугольники. Эти образования уменьшают отражение света от поверхности, что придает ей матовый вид. Такие микроструктуры весьма обычны у насекомых, нуждающихся в различных способах маскировки для защиты от хищников.

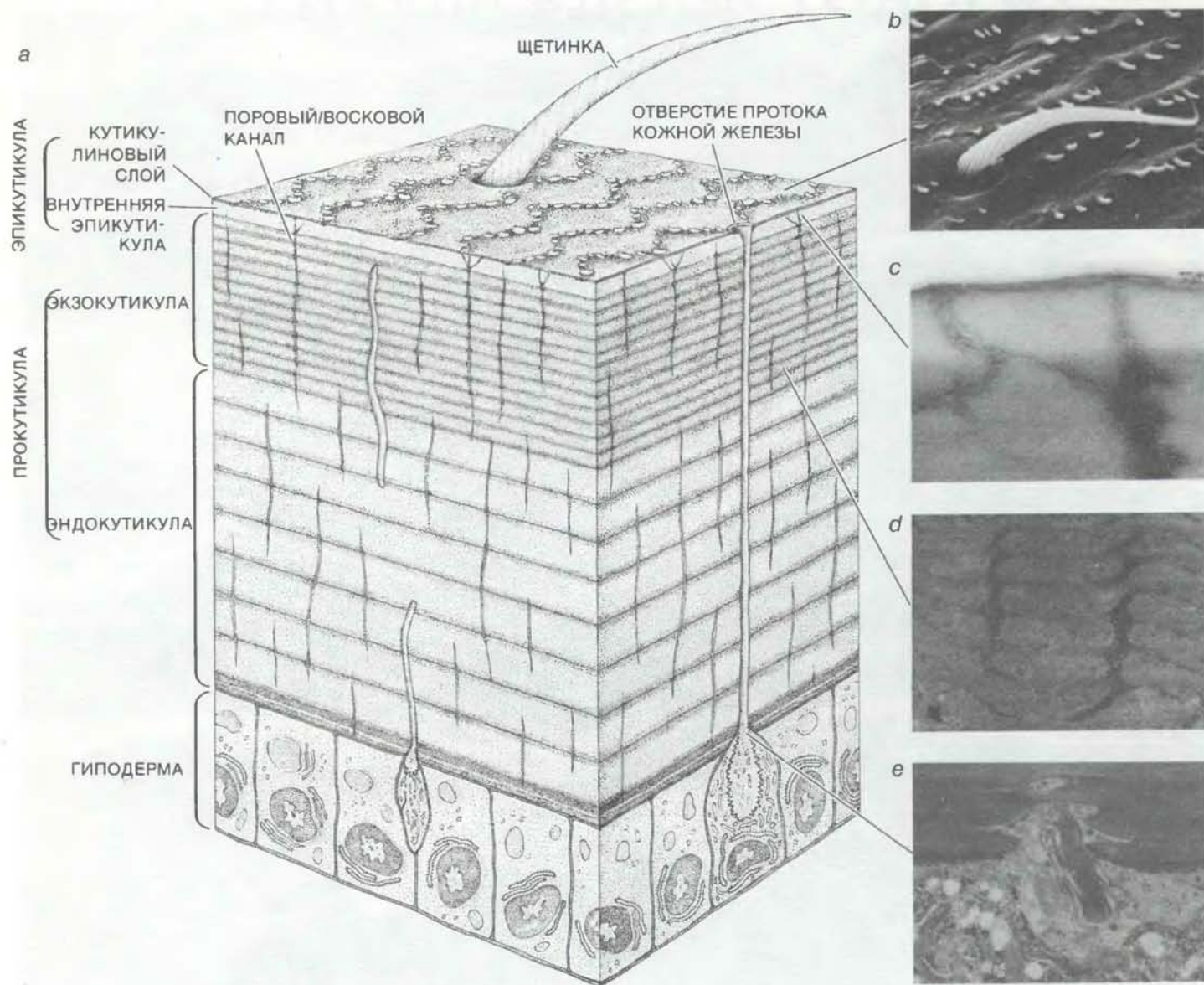
Вторая часть кутикулы, прокутикула, составляет основную массу интегумента, и толщина ее колеблется от 10 мкм до нескольких сотен микрометров. Форма и прочность кутикулы определяются прокутикулой. Обычно она состоит из относительно тонкой экзокутикулы — верхнего пигментированного слоя, и более толстой эндокутикулы. В некоторых случаях присутствуют еще два слоя — мезокутикула, которая располагается между экзо- и эндокутикулой, и так называемая выстилка, помещающаяся между гиподермой и кутикулой.

Слой кутикулы пронизан вертикальными канальцами. Самые круп-



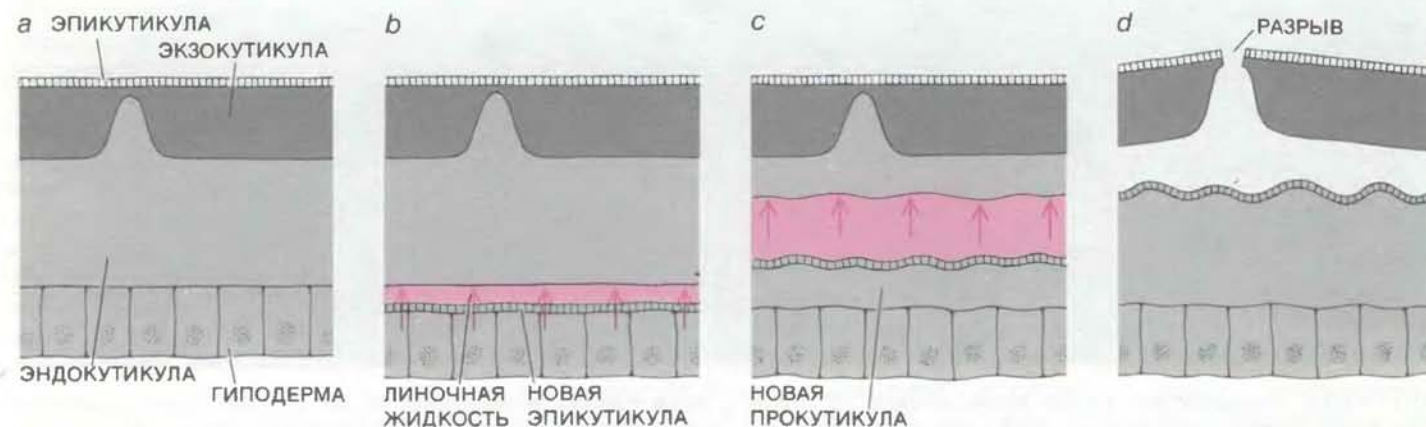
КУТИКУЛА, покрывающая крыло жука-скакуна. Её строение типично для членистоногих. На этой микрофотографии, сделанной с помощью сканирующего электронного микроскопа (увеличение $\times 7200$), представлен поперечный срез кутикулы, приготовленный методом замораживания — скалывания. На поверхности видны многоугольники с приподнятыми краями, а под ними — эпикутикула и

экзокутикула, которые выглядят при этом увеличении как единый темный слой. Ниже экзокутикулы лежат слои эндокутикулы, имеющие вид тонких белых пластов с рваными краями наподобие фанеры. Толстый белый дугообразный пласт под ними — это ограниченная эндокутикулой верхняя стенка большого трахеального канала, а черная область — его полость.



СТРОЕНИЕ КУТИКУЛЫ членистоногих на примере кутикулы обыкновенного домашнего сверчка (а). Кутикула покоится на гиподерме, представляющей собой один слой клеток. Через кутикулу в вертикальном направлении проходят протоки кожных желез и более узкие поровые каналы, которые ближе к поверхности сливаются с восковыми ка-

нальцами. На микрофотографиях показаны щетинка и множество мелких выростов (микротрихий) на поверхности кутикулы (b); восковые каналы, сливающиеся с поровым каналом на границе эпи- и экзокутикулы (c); поровые каналы (темные) в толще экзокутикулы (d) и проток кожной железы, отходящий от железы в гиподерме (e).



НОВАЯ КУТИКУЛА формируется в несколько стадий. Ее образование начинается еще до того, как членистоногое линяет (а). Прежде всего кутикула отделяется от гиподермы, клетки которой секретируют в образовавшееся пространство жидкость, содержащую специальные линичные ферменты, и новую эпикутикулу (b). Старая эндокутикула

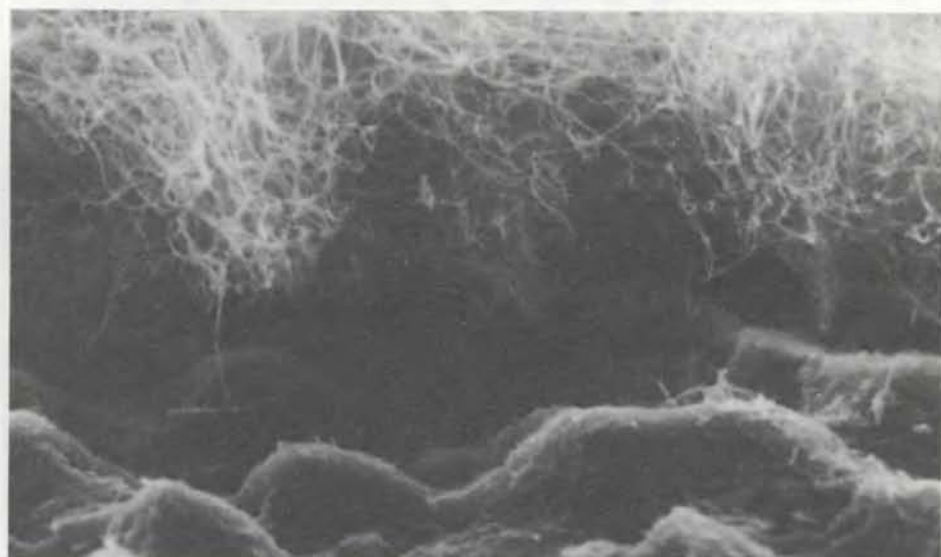
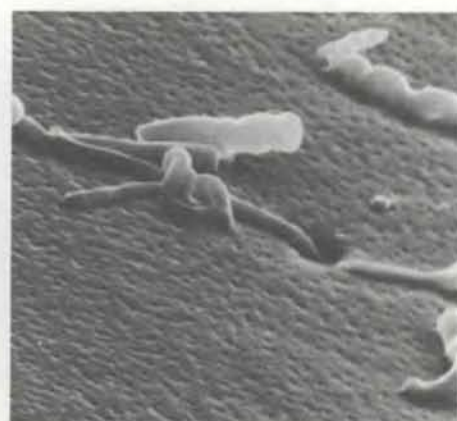
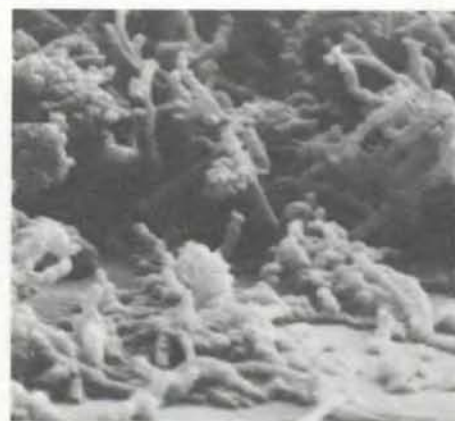
растворяется в линичной жидкости, а гиподерма производит новую, еще недифференцированную прокутикулу (c). Когда старая эндокутикула полностью растворяется, большая часть линичной жидкости реабсорбируется, кутикула лопается (d) и животное выходит из нее. Вскоре после этого новая экзокутикула затвердевает.

ные из них — это протоки кожных желез, направляющиеся от находящихся в гиподерме резервуаров к поверхности, где их отверстия часто располагаются упорядоченно. Природа веществ, поступающих через эти протоки, пока еще точно не установлена. Другие каналы, поровые и восковые, уже, чем протоки кожных желез, и более многочисленны. Поровые каналы начинаются в гиподерме и соединяются с восковыми каналами на границе экзокутикулы и эпикутикулы; восковые каналы заканчиваются на поверхности кутикулинового слоя или вблизи нее. Предполагается, что поровые и восковые каналы представляют собой путь, по которому липиды («воски») поступают от гиподермы к эпикутикуле. У ракообразных поровые каналы, возможно, служат также для доставки к эндокутикуле и экзокутикуле кальция, который вместе с другими неорганическими веществами обеспечивает твердость кутикулы.

Разумеется, структура кутикулы подвергается сильным изменениям во время линьки (экдизиса). Линька является одной из характерных особенностей членистоногих, без которой эти животные не могли бы расти. Перед тем как старая кутикула сбрасывается, клетки гиподермы секретируют новую, мягкую эпикутикулу. (Вероятно, именно клетки гиподермы создают полигональный рисунок, появляющийся впоследствии на поверхности кутикулы: ребра многоугольников, по-видимому, соответствуют границам гиподермальных клеток.) Как только гиподерма начинает секретировать эпикутикулу, через вновь образованный кутикулиновый слой поступают ферменты, которые начинают «переваривать» старую эндокутикулу. Когда эндокутикула становится частично «переваренной», гиподерма секретирует мягкую прокутикулу. После того как от старой эндокутикулы уже ничего не останется, животное выходит из прежнего наружного покрова и, заглатывая воздух или воду, увеличивает объем тела, растягивая, таким образом, новую кутикулу. Менее чем за 24 ч её экзокутикула затвердевает. В дальнейшем у некоторых членистоногих в кутикулу могут добавляться кальций, липиды и другие вещества.*



ПУСТЫННЫЙ ЖУК-ЧЕРНОТЕЛКА (*Onymacris rugatipennis*), изображенный слева, покрыт восковым налетом; жук того же вида справа не имеет такого налета. Восковой налет представляет собой массивные отложения липидов (восков) на поверхности кутикулы. Это покрытие препятствует потере воды, а также обеспечивает маскировку животного.



РАЗНИЦА в функциях между двумя основными частями кутикулы в значительной степени связана с различием в их химическом составе. Так, в эпикутикуле особенно много липидов, хотя эти вещества в той или иной мере присутствуют во всей кутикуле. Липиды, должны быть, создают основную барьер, препятствующий по-

ОТЛОЖЕНИЯ ЛИПИДОВ, образующие восковой налет, могут быть самой разнообразной формы. У жука-древоточца (вверху слева) они имеют вид скрученных трубчатых выростов. Если удалить основную часть налета, слегка почистив поверхность кутикулы, то можно увидеть выделение секрета из отдельной поры (вверху справа). У пустынной чернотелки (внизу) восковой налет состоит из тонких нитей, образующих сеть. Слой воздуха между поверхностью кутикулы и восковой сетью участвует в создании барьера, препятствующего потере воды организмом. Чернотелки отличаются очень высокой эффективностью этого барьера, уникальной в мире животных.

тере воды организмом членистоногого, но внешний вид и прочность кутикулы от них, по-видимому, мало зависят. Считается, что в эпикутикуле хитина нет. Прокутикула же состоит главным образом из хитина, погруженного в белковый матрикс. Хитин — это полисахарид (т.е. полимер из молекул сахаров), близкий целлюлозе (клетчатке) — строительному материалу растений. Хитин вместе с белком составляют 90% органического вещества кутикулы и обеспечивают ее структурную целостность. Помимо хитина и белка в кутикуле содержатся пигменты, фенолы и различные неорганические вещества.

Поскольку защита организма от потери воды является, скорее всего, важнейшей функцией кутикулы, исследователи обращают много внимания на липиды кутикулы, стремясь определить, каков их химический состав и каким образом эти вещества препятствуют обезвоживанию. Особенно существенную роль играют липиды эпикутикулы. Молекулы липидов в эпикутикуле присутствуют и в свободном виде, и связанные с белком; кроме того, они образуют массивные отложения на ее поверхности. В тотальных экстрактах тела наземных членистоногих и в экстрактах сброшенной при линьке кутикулы

обычно содержится сложная смесь липидов различного рода.

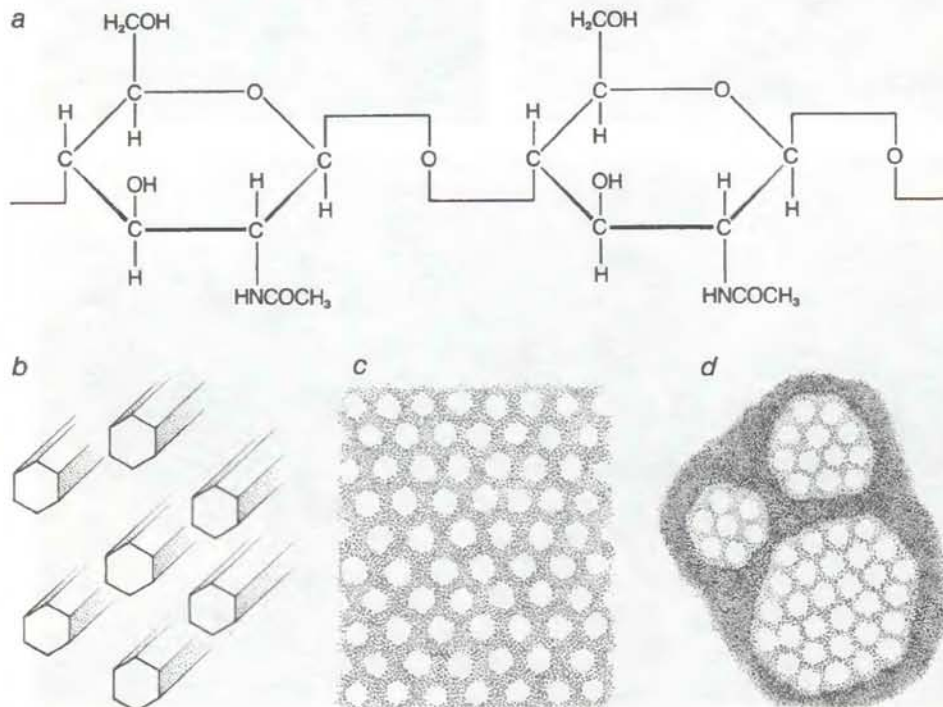
Больше всего среди них углеводородов. Их преобладание неслучайно: молекулы углеводородов образованы длинными цепями из атомов углерода, связанных с атомами водорода, и обладают тем преимуществом, что слабо взаимодействуют с водой. Обнаруженные в кутикуле углеводороды относятся к нескольким классам: *n*-алканы, или нормальные алканы, представляющие собой парафиноподобные соединения, состоящие из неразветвленных насыщенных цепей (т.е. между атомами углерода имеется только по одной связи); *n*-алкены, состоящие также из неразветвленных, но ненасыщенных цепей (т.е. между некоторыми атомами углерода имеется двойная связь); и соединения из разветвленных цепей с одной или несколькими метильными группами ($-\text{CH}_3$). Наряду с углеводородами присутствуют и окисленные производные *n*-алканов, хотя обычно в меньших, иногда даже в следовых количествах. В числе этих производных могут быть воски, свободные жирные кислоты, спирты и кетоны. Встречаются также циклические липиды, среди которых чаще других — стеролы, особенно холестерол. Из всех липидов кутикулы самы-

ми гидрофобными (т.е. водоотталкивающими) являются *n*-алканы и воски; кроме того, длинноцепочечные липиды обычно более гидрофобны, чем короткоцепочечные.

МОЖНО БЫЛО ожидать, что не только химическая структура липидов, но и их распределение влияет на «барьерные» свойства эпикутикулы. К сожалению, просвечивающий электронный микроскоп мало помогает при изучении распределения липидов. Тому есть несколько причин. Одна из них заключается в том, что удаление восков обычными методами, по-видимому, не влияет на толщину и внешний вид тех участков кутикулы, из которых производится удаление; поэтому невозможно судить о наличии липидов в данном поперечном срезе через эпикутикулу по структурным изменениям, происходящим в результате экстракции липидов. Более того, хотя на соответствующим образом окрашенных препаратах кутикулы в световом микроскопе в верхнем слое кутикулы ясно видны липиды, подтвердить их присутствие или подробно изучить распределение с помощью просвечивающего электронного микроскопа можно, только если принять специальные меры предосторожности. Большинство обычных методов, применяемых при подготовке образцов кутикулы для электронно-микроскопического исследования предполагают обработку, в результате которой растворяются как раз те липиды, которые интересно выявить.

Однако кое-что в этом направлении сделано. В 1975 г. Винсент Уигглсворт из Кембриджского университета разработал способ наблюдения кутикулярных липидов в тонких срезах кутикулы. Он действовал на ткань мирценом (ненасыщенный углеводород ($\text{C}_{10}\text{H}_{16}$)) в промежутке между обработками ее осмиевым фиксатором. Предполагается, что мирцен включается в липиды и что осмий, который одновременно и фиксирует, и красит ткань, соединяется с мирценом. Применяв этот метод, Уигглсворт выявил липиды в эпикутикулярных канальцах кровососущего клопа *Rhodnius prolixus*.

Несмотря на трудности обнаружения липидов в кутикуле с помощью просвечивающего электронного микроскопа, ряду исследователей, в том числе и мне, удалось получить данные, свидетельствующие о значении кутикулярных липидов — особенно тех из них, в молекулах которых есть длинная углеводородная цепь, — для удержания воды в организме членистоногого. В частности, мои ученики и я показали, что насекомым и пауко-



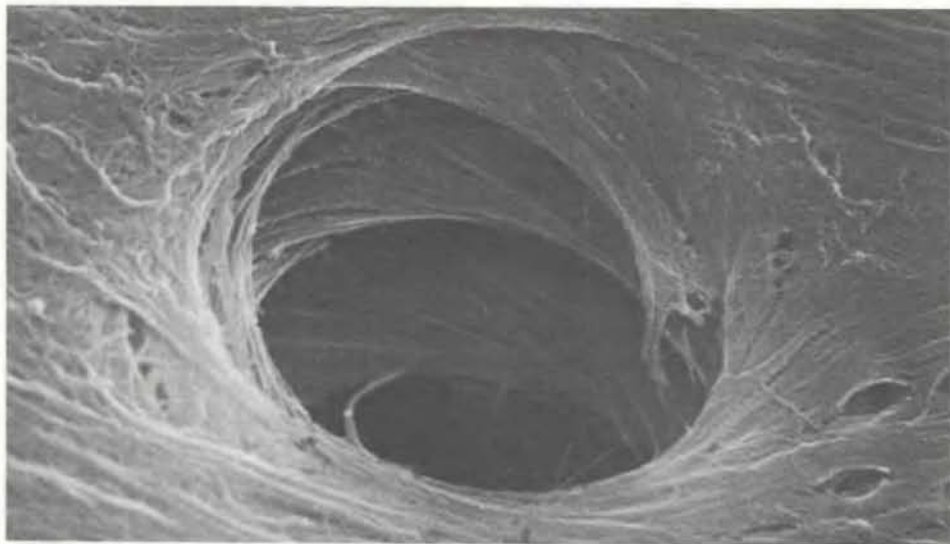
СОСТАВ И СТРОЕНИЕ хитиновых тяжей кутикулы. Хитин представляет собой полисахарид, мономером которого является N-ацетилглюкозамин (а). В кутикуле хитин содержится лишь в прокутикуле, где он образует кристаллические шестигранные тяжи (b), которые состоят из 18—25 молекул, располагающихся в 2—3 ряда. На поперечном срезе прокутикулы (c), сфотографированном с помощью электронного микроскопа (увеличение $\times 10^6$), торцы хитиновых тяжей выглядят как прозрачные участки (на рисунке белые); они окружены белком (темный). У краба хитиновые тяжи, связанные с белком, сгруппированы в пучки различной толщины, пространство между которыми (темное) занято белком и кальцием (d; увеличение то же). Кальций повышает твердость кутикулы.

образным, характеризующимся низкой скоростью потери воды или обитающим в условиях, способствующих потере воды, свойственно наиболее высокое среди членистоногих содержание липидов в кутикуле, а также наиболее высокое содержание углеводов или других липидов, в молекулах которых имеются длинные насыщенные цепи.

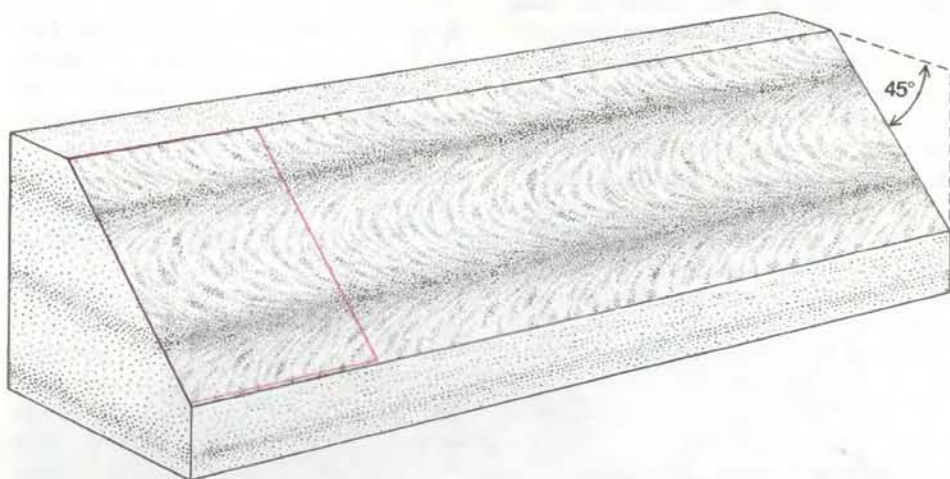
Я занимался поисками корреляции между эффективностью создаваемого кутикулой барьера, предохраняющего от потери воды, и составом, строением и распределением липидов кутикулы. В действительности, по-видимому, все слои, составляющие кутикулу, и несколько групп химических соединений участвуют в обеспечении непроницаемости наружных покровов членистоногого для воды. Однако я ограничил свои исследования изучением липидов внутри и на поверхности эпикутикулы, поскольку у большинства видов именно они, очевидно, являются основным барьером, препятствующим потере воды.

НАИБОЛЬШЕЕ количество данных о липидах эпикутикулы и о значении определенных липидов для водонепроницаемости кутикулы получают при изучении видов, которым свойственны массивные восковые отложения на поверхности тела, и особенно тех членистоногих, которые имеют восковой налет. Восковой налет — это покрытие, образуемое отдельными липидными отложениями (выростами), располагающимися беспорядочно на поверхности кутикулы. Подобно растениям, обладающим восковым покрытием, животные с восковым налетом часто выглядят как бы посыпанными пудрой. Восковой налет есть у насекомых из различных отрядов, включая *Lepidoptera* (ночные и дневные бабочки), *Coleoptera* (жуки), *Hymenoptera* (осы и пчелы), *Homoptera* (цикады и тли) и *Hemiptera* (настоящие клопы).

Среди исследователей, изучавших восковой налет, следует отметить Р. Поупа и Дж. Кокса из Британского музея естественной истории в Лондоне. С помощью сканирующего электронного микроскопа они исследовали тлей и мучнистых червецов. В результате их работы были получены данные о канальцах, через которые секретится воск, и о форме восковых выростов. Поуп и Кокс обнаружили, что у большинства видов форма и очертания этих выростов зависят от устройства пор, через которые воск поступает на поверхность тела. Так, у мучнистых червецов через трубчатые канальцы с 3—5 отверстиями выдавливаются закрученные восковые нити и образуют длинные полые выросты.



ПРОТОК КОЖНОЙ ЖЕЛЕЗЫ, окруженный хитиновыми волокнами, в эндокутикуле скорпиона *Hadrurus arizonensis* (снимок сделан с внутренней стороны; увеличение $\times 11\ 000$). Благодаря спиралеобразной организации волокон кутикула выдерживает нагрузки не трескаясь.



РАЗРЕЗ ЧЕРЕЗ ЭНДОКУТИКУЛУ груди сверчка под углом в 45° к ее поверхности (вверху); электронная микрофотография среза (внизу слева) сделана с увеличением $\times 50\ 000$. Чередующиеся темные и светлые полосы соответствуют слоям хитиновых тяжей, либо располагающихся в одном направлении, либо образующих по вертикали спираль. Внизу справа схематически изображен ход тяжей в стопке слоев; каждая ламелла соответствует «повороту» на 180° .

Однако не всегда восковые выделения сохраняют свою первоначальную форму. У пустынного жука *Cryptollossa verrucosa*, по моим наблюдениям воск выделяется на поверхность в виде бесформенных капель из крошечных узелковых утолщений на поверхности кутикулы. Если жук попадает в условия низкой влажности, капли распадаются на множество тонких нитей (диаметром 0,14 мкм), расходящихся от вершины бугорка; в конце концов эти нити соединяются друг с другом, образуя плотную сеть по всей поверхности тела жука.

Членистоногие с наиболее эффективным, а возможно, и с наиболее обильным восковым налетом — это жуки-чернотелки, обитающие на юго-западе Африки в пустыне Намиб. (Чернотелки обладают твердыми покровами, окрашенными обычно в темные цвета; они широко распространены в пустынных районах по всему миру.) Э. Мак-Клейн из Университета Витватерсранд в Йоганнесбурге и М. Сили из Отдела по изучению экологии пустынь Совета научно-технических исследований Намибии обнаружили, что у 26 и 46 исследованных видов чернотелок воско-

вой налет покрывает всю поверхность тела или ее часть, часто образуя замысловатые узоры различных цветов.

В совместной работе, проделанной Мак-Клейном, Сили и мной, было установлено, что по мере перехода от холодной области пустыни с частыми туманами на побережье к более жаркой и сухой ее части во внутренних районах континента доля видов с восковым налетом на кутикуле возрастает, а у видов, обитающих в обеих этих областях, интенсивность воскового налета и площадь, занимаемая им на интегументе, увеличиваются по мере того, как климат становится жарче и суше. Анализ липидов, составляющих восковой налет, показал, что преобладают углеводороды, большинство которых относится к типу соединений с наиболее выраженными водоотталкивающими свойствами — *n*-алканам.

МНЕ С МОИМИ учениками удалось также показать, что некоторые животные из многих групп членистоногих обладают способностью увеличивать количество воска на поверхности тела, если их место обита-

ния становится слишком сухим. Более того, они могут изменять состав липидов на поверхности тела, когда сезонные или искусственно созданные лабораторные условия вызывают необходимость более надежного сохранения воды в организме. Например, у жука *Eleodes armata* из семейства чернотелок летом образуется больше углеводов, чем зимой, причем в них увеличивается доля длинноцепочечных соединений. Мы обнаружили, что, если отловленных зимой жуков поместить в условия летних температуры и влажности, характер образования углеводов у них меняется на «летний».

Участие липидов в обеспечении способности удерживать воду в организме следует, по-видимому, считать наиболее важной функцией восковых отложений на поверхности тела, однако эти отложения оказываются полезными членистоногим и в других отношениях. Поверхностные воски могут служить средством защиты от хищников. Так, у личинок многих божьих коровок липкие восковые нити, покрывающие поверхность, создают физическое препятствие для нападения потенциальных хищников и для заражения паразитами. Нередко воски образуют на поверхности тела сложную окраску или рисунок, которые обеспечивают маскировку либо мимикрию или и то и другое вместе. У некоторых членистоногих поверхностные воски защищают животное от самого себя; например, у тлей и мучнистых червецов закрученные восковые нити на поверхности тела, по-видимому, не дают им увязнуть в своих собственных вязких медовых выделениях или в выделениях находящихся рядом особей.

Другой вероятной функцией поверхностных липидов является участие в регуляции температуры тела. У пустынных членистоногих по поверхности тела равномерно распределен светлый воск, что усиливает отражение солнечных лучей, и в результате замедляется нагревание, опасное для мелких членистоногих, так как у них температура тела на солнце легко приближается к летальному уровню. Светлый восковой покров дает им возможность дольше активно действовать на поверхности почвы. Поверхностные воски могут также отражать потенциально вредные ультрафиолетовые лучи; наверное, отчасти поэтому у многих насекомых и паукообразных, живущих на больших высотах, восковое покрытие поверхности тела отличается большой плотностью.

Благодаря липидам кутикула отталкивает воду, которая могла бы по-



МЕДОВЫЙ МУРАВЕЙ с раздувшимся брюшком, в котором он накопил пищу, предназначенную для всей колонии. Брюшко может так сильно растягиваться потому, что покрыто очень эластичной мягкой кутикулой. Мягкая кутикула, которую правильнее называть сочленовой мембраной, обычно располагается между тергальными пластинками и между члениками конечностей. Как видно на нижнем рисунке, она остается в складках до тех пор, пока пластинки или членики не начинают раздвигаться; тогда складки расправляются.

пасть в тело животного из внешней среды. Так, предполагают, что толстый восковой покров защищает тлей от воды во время дождя. У тех животных, которые не пытаются во время ливней найти укрытие, поверхностные воски, видимо, играют роль «двухстороннего» барьера для воды, защищая и от намокания, и от обезвоживания. Наконец, появились данные, указывающие на то, что поверхностные воски служат источником важных химических и зрительных сигналов, вызывающих различные поведенческие реакции, например спаривание.

НЕСОМНЕННО, что липиды кутикулы играют решающую роль в выживаемости большинства членистоногих. А каково значение хитина и белка прокутикулы — основных по количеству химических компонентов кутикулы? Вместе эти два вещества обуславливают замечательные механические свойства кутикулы, которые можно сравнить с механическими свойствами такого прочного двухкомпонентного материала, как стекловолокно. Хитиновые волокна образуют пучки наподобие жгутов, которые обеспечивают прочность кутикулы на растяжение, но в то же время обладают гибкостью. Белок прочно связан с хитином, так что хитиновые тяжи находятся в толще белкового матрикса, который, объединяя их, делает кутикулу менее гибкой. Комбинация хитина с белком позволяет кутикуле выдерживать большие нагрузки, не трескаясь и не разрываясь. Замечательно, что по прочности комплекс хитин — белок сравним со сталью: предел прочности стали на растяжение лишь в 10 раз превышает таковой кутикулы.

Эта необыкновенная прочность кутикулы обеспечивается как химическими свойствами хитина и белка, так и их структурной организацией в прокутикуле. Молекула хитина представляет собой длинную неразветвленную цепь из циклических производных глюкозы, соединенных ковалентными связями. Между соседними молекулами хитина образуются водородные связи. Хотя и слабые, водородные связи многочисленны и именно они в значительной степени определяют устойчивость хитина и его прочность на растяжение. На долю хитина обычно приходится 25—50% сухого веса кутикулы (конкретные оценки варьируют в широких пределах).

По сравнению с тем, что сейчас известно о хитине, о составе и молекулярной организации белков кутикулы мы знаем еще мало. Тем не менее

установлено, что белок в прокутикуле может подвергаться склеротизации, которая проявляется в том, что он становится нерастворим в воде и, как правило, темнеет. Вследствие этого процесса кутикула затвердевает. Широко распространено мнение, что затвердевание кутикулы есть результат того, что между соседними белковыми молекулами возникают мостики из фенолов или других соединений. Высказывалось, однако, предположение, что для отвердевания кутикулы достаточно потери воды, так как это способствует образованию связей между белковыми молекулами.

Склеротизация, которая происходит только в экзокутикуле, является необратимым процессом; степень ее широко колеблется среди членистоногих. В то время как кутикула на тергитах (пластинках, покрывающих dorsальную часть сегментов гусениц) склеротизована слабо, кутикула мандибул (ротовых придатков, служащих для жевания) у некоторых жуков склеротизована очень сильно. Высокая степень склеротизации кутикулы наряду с отложением цинка, а иногда и магния обуславливает удивительную способность жуков прокусывать своими мандибулами такие металлы, как свинец и медь.

БЛАГОДАРЯ электронной микроскопии и рентгеноструктурному анализу удалось разобраться в сложной организации хитина и белка, дающей основной вклад в поразительную прочность кутикулы. Молекулы хитина образуют кристаллические тяжи, называемые микрофибриллами. Каждый тяж содержит 18—25 молекул, расположенных в 2—3 ряда. Белковые молекулы, связанные с хитином, по-видимому, присоединяются к нему в периферических частях микрофибрилл; они составляют часть общего белкового матрикса. Хитиновые микрофибриллы ориентированы слоями параллельно поверхности эпикуткулы. Группы слоев образуют ламеллы (тонкие пластинки) как в экзо-, так и в эндокутикуле. У некоторых животных, например у крабов, между хитиновыми тяжами откладываются кальций и другие вещества.

Расположение слоев хитиновых тяжей в ламеллах представляет особый интерес. Оказывается, в каждой ламелле они образуют спираль. Впервые это обнаружил И. Булиган у ракообразных. Позже Э. Невилл описал спиралеобразную структуру и в покровах насекомых. В экзокутикуле все слои микрофибрилл параллельны, но в каждом слое тяжи повернуты относительно тяжей вышележащего слоя на один и тот же небольшой угол про-

тив часовой стрелки. В целом в одной ламелле при переходе от слоя к слою тяжи совершают поворот на 180°. В эндокутикуле членистоногих микрофибриллы могут также формировать полностью спиральную структуру, но чаще они образуют стопки слоев, в которых однонаправленные тяжи перемежаются частичными и полными спиралями. Ламеллы в эндокутикуле обычно толще, чем в экзокутикуле.

Комбинация спиралеобразующих слоев и ориентированных в одном направлении микрофибрилл обеспечивает кутикуле прочность точно так же, как слоистая структура фанеры. Благодаря расположению тяжей разных слоев под углом друг к другу уменьшается образование и распространение трещин, которые могли бы привести к разламыванию кутикулы при сильной нагрузке. Ф. Барт из Франкфуртского университета прекрасно продемонстрировал это свойство кутикулы на примере пауков: трещины кутикулы распространяются по ней только в белковом матриксе между хитиновыми волокнами, достигнув которых сходят на нет.

В начале 60-х годов Невилл показал, как складывается в кутикуле чередование слоев спиралеобразующих и однонаправленных микрофибрилл. Он установил, что у саранчи днем образуются слои однонаправленных хитиновых тяжей, а ночью — спиралеобразующих, причем процесс отложения регулируется не столько временным фактором как таковым, сколько непосредственно освещенностью. Если саранчу содержать в условиях постоянного света или темноты, в кутикуле формируются слои либо только однонаправленных тяжей, либо только спиралеобразующих. Обнаруженная Невиллом закономерность была подтверждена другими исследователями на примере многих насекомых; исключение составляют жуки. Число слоев кутикулы, которое нетрудно определить при помощи светового микроскопа, является надежным критерием возраста для большинства взрослых насекомых.

ЕСЛИ КУТИКУЛА устроена единообразно, почему же тогда в одних случаях она жесткая, а в других гибкая? Твердость, эластичность и растяжимость кутикулы у разных животных и в разных частях тела могут быть различными. Эти свойства зависят от особенностей белка, от количественного соотношения хитина и белка и от степени склеротизации кутикулы. Здесь уместно рассмотреть два специализированных типа кутикулы — кутикулу, содержащую каучукоподобный белок резилин, и так

называемую мягкую кутикулу, образующую сочленения между пластинками экзоскелета или сегментами конечностей. И та, и другая по твердости значительно уступают, например, панцирю, покрывающему дорсальную поверхность тела у многих жуков.

Резилин обнаружен там, где кутикула должна быть эластичной, например на крыловых сочленениях саранчи, на лапках блох в «энергонакопительных» подушечках, облегчающих прыжок, в клешнях скорпионов, где отсутствуют растягивающие мышцы. Такая уникальная по своей эла-

стичности кутикула состоит из закрученных полипептидных цепей резилина, соединенных «боками» при помощи аминокислот. Эта сеть растягивается, если кутикула испытывает напряжение, а когда нагрузка исчезает, возвращается в исходное состояние даже после продолжительного растяжения.

Мягкая кутикула, которую правильнее называть сочленовой мембраной, отличается высокой степенью гибкости и растяжимости главным образом потому, что входящие в ее состав белки не склеротизованы. Хитина в сочленовой мембране



БАРЬЕРЫ, ПРЕПЯТСТВУЮЩИЕ ПОТЕРЕ ВОДЫ организмом членистоногого с поверхности тела, создаются покровом, состоящим из гиподермы и кутикулы. Прохождение воды через него представлено в виде схемы электрической цепи (цветная линия). Символ сопротивления (зигзаг) обозначает, что существует какая-то помеха «электрическому току», т. е. движению воды. Стрелки, пересекающие символы сопротивления, показывают, что эффективность данного препятствия не постоянна. Буквы, заключенные в кружок, означают, что барьерная функция данного элемента кутикулы зависит от температуры (Т) и влажности (Н), а знаки вопроса — что участие элемента в защите от потери воды точно не установлено. Несмотря на то что барьеров несколько, некоторая часть воды проникает сквозь апикальную (верхнюю) мембрану гиподермы (толстая стрелка) и через слои кутикулы. Эндокутанула, содержание воды в которой невелико, конечно, ограничивает ее потерю, но основное препятствие — это липиды в эпикутануле и на поверхности кутикулы. Тонкий слой воздуха непосредственно над поверхностью кутикулы (припограничный слой) также дает вклад в создание водонепроницаемого барьера. Какое-то количество воды проходит через кутикулу по поровым и восковым каналам, составляющим единый комплекс, и по протокам кожных желез (тонкие стрелки). Однако в выстилке протоков и каналов содержатся вещества, препятствующие движению воды; следовательно, каналы тоже могут вносить свой вклад в защиту организма членистоногого от потери воды.

Издательство МИР предлагает:

Ригетти П. ИЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ФОКУСИРОВАНИЕ

Теория, методы и применение

Перевод с английского

Энциклопедически полное изложение одного из наиболее эффективных методов анализа и разделения белков. Автор книги пользуется репутацией лидера в разработке методов и вариантов изоэлектрического фокусирования (ИЭФ).

Содержание: Теоретические основы и принципы ИЭФ. Синтез коммерческих амфолитов-носителей. Лабораторный синтез амфолитов, их свойства. Оценка различных подходов к созданию «иммобилизованного» рН-градиента. Препаративные варианты ИЭФ (ИЭФ в растворах, гранулированных гелях, в блоках полиакриламидного и агарозного гелей, хроматофокусирование). Варианты аналитического ИЭФ. Идентификация фракций после ИЭФ (окраска серебром, радиографические, флуориметрические, энзиматические и иммунологические методы). Двумерное ИЭФ. Принципы и приемы оптимизации экспериментов по ИЭФ. Типичные ошибки, возникающие в ходе ИЭФ, и пути их предупреждения. Требования к реактивам, принципы подбора нужного диапазона рН, методы определения рН-градиента. Анализ причин, приводящих к артефактам при ИЭФ. Некоторые аспекты применения ИЭФ в биологии и медицине (анализ пептидов, белков бактерий и вирусов, сывороточных белков). Новый тип носителей для ИЭФ — «иммобилины» (производные акриламида).

Для молекулярных биологов, биохимиков, иммунологов и биологов других специальностей, занимающихся разделением и очисткой белков.

1986, 26 л. Цена 4 р. 20 к.



содержится больше, чем в твердой кутикуле. Сочетание незатвердевшего белка и хитина позволяет мембране легко изгибаться, выдерживая при этом относительно высокие нагрузки. У половозрелой самки саранчи мягкая кутикула способна растягиваться очень сильно; брюшная межсегментальная мембрана этих насекомых может удлиниться в 15 раз, благодаря чему при откладке яиц самка погружает брюшко глубоко в ямку, которую она роет для них. У царицы термитов брюшная поверхность тоже увеличивается во много раз, чтобы вместить массу развивающихся яиц. Пока о молекулярных взаимодействиях, лежащих в основе феномена растяжения кутикулы, нам известно далеко не все. Предполагается, что хитиновые микрофибриллы в эластичной кутикуле ориентированы в направлении растяжения и что белки матрикса сравнительно легко взаимодействуют с водой.

ХОТЯ УЖЕ получено множество данных о функциях кутикулы, ее структуре, химических и механических свойствах, на ряд вопросов ответов все еще нет. Предстоит выяснить, каким образом различные химические соединения проходят через наружную мембрану гиподермальных клеток и включаются в состав соответствующих слоев кутикулы. Неизвестны функции кожных желез и химический состав выделяемого ими секрета. непонятно, как работают сенсорные образования, выступающие из кутикулы, особенно рецепторы, которым приписывается чувствительность к химическим стимулам внешней среды или к изменениям температуры и влажности. Остается еще многое узнать о белках матрикса, в который погружен хитин, о физических и химических изменениях, которым подвергаются белки при склеротизации.

Ученые пытаются лучше разобраться в функционировании кутикулы как водонепроницаемого барьера. Безусловно, основное препятствие для потери воды создают липиды эпикутикулы; их эффект усиливается благодаря тонкому невозмущенному слою воздуха, непосредственно прилегающего к поверхности кутикулы. О значении экзокутикулы, эндокутикулы и подстилающих гиподермальных клеток для функционирования этого барьера данных пока мало. Неизвестно также распределение конкретных липидов в эпикутикуле; не ясно, какие взаимодействия разных липидов между собой и с нелипидными компонентами кутикулы обеспечивают удержание воды в организме членистоногих. В настоящее время ве-

дутся исследования по измерению потерь воды через неповрежденную кутикулу с помощью миниатюрных капсул, прикрепляемых к поверхности тела, а также через вырезанные кусочки кутикулы. Ожидается, что результаты экспериментов помогут

получить ответы на некоторые из поставленных вопросов и вкпе с продолжающимися морфологическими и биохимическими исследованиями позволят создать более полное представление о структуре и функциях кутикулы членистоногих.

Издательство ФИНАНСЫ И СТАТИСТИКА предлагает:

Дж. Элти, М. Кумбс
ЭКСПЕРТНЫЕ СИСТЕМЫ;
КОНЦЕПЦИИ И ПРИМЕРЫ

Перевод с английского

В доступной форме излагаются методологические и теоретические основы построения экспертных систем. Приведена их классификация. На примерах реальных систем дается представление о различных подходах к построению баз данных и способах манипулирования ими. Описываются стратегии поиска решений и метод редукции

пространства поиска, в частности, — путем факторизации и абстрагирования. Обсуждаются пути дальнейшего совершенствования методологии построения экспертных систем.

Для специалистов в области информатики и искусственного интеллекта, студентов и аспирантов вузов.

1987, 14 л. Цена 1 р. 20 к.

Книги издательства можно приобрести в книжных магазинах, распространяющих общественно-политическую литературу, и в магазинах — опорных пунктах. Там же вы можете ознакомиться с планом выпуска литературы издательства «Финансы и статистика» на 1987 г. Прием предварительных заказов на эти издания будет производиться в пределах плановых тиражей, указанных в аннотированном плане.

Адреса магазинов — опорных пунктов:

375000, г. Ереван,
ул. Абовяна, 1/1, магазин № 43;
664023, г. Иркутск,
ул. Литвинова, 1, магазин № 1;
191186, г. Ленинград,
Невский просп. 28, магазин № 1 «Дом книги»;
252004, г. Киев,
Красноармейская ул., 2, магазин № 43;
127106, г. Москва,
Гостиничный проезд, 8, магазин № 99;
220050, г. Минск,
Ленинский просп., 19, магазин № 29 «Центральный»;
630097, г. Новосибирск,
Красный просп., 29, «Центральный дом книги»;
22639, г. Рига,
ул. Ленина, 38, магазин «Политическая книга»;
330665, г. Ташкент,
ул. Пушкина, кв. Ц-1, кор. 6, магазин № 1.



Необычные фигуры, появляющиеся в замерзающей воде и плавящемся льду

ДЖИРЛ УОЛКЕР

ВЗГЛЯНИТЕ повнимательней на кусок льда, и вы увидите некоторые удивительные вещи. Почему лед наполнен пузырьками и пронизан трубочками, напоминающими червоточины? Почему диаметр трубочек изменяется, причем явно не случайным образом? От чего зависит распределение пузырьков? Почему кусок льда, когда он плавится, «плюется» воздухом и водой? Предположим, кубик льда выставили на солнце; почему внутри него начнут образовываться пузырьки, шестиугольные фигуры и фигуры, напоминающие лист папоротника? Чтобы ответить на эти вопросы, надо изучить, как образуются кристаллы льда при замерзании воды.

Вода замерзает только после того, как охладится ниже точки замерзания, равной 0°C . В этом состоянии она представляет собой переохлажденную жидкость. Процесс замерзания начинается с образования зародышей кристаллизации. В большинстве случаев в этой роли выступает кристаллик снега или какая-то примесь, содержащаяся в воде. Молекулы воды присоединяются ко льду, давая начало образованию кристаллической структуры. Кристалл постепенно растет, пока не встретит другой кристалл или стенку сосуда.

Когда вода на поверхности замерзает, процесс распространяется в глубь жидкости. При замерзании и образовании кристаллической структуры молекулы воды теряют энергию. Тепло переносится через слой льда за счет теплопроводности; находящийся выше воздух отводит тепло за счет либо теплопроводности, либо конвекции.

Если вода чистая (идеальный случай), то низшего значения температура достигает в слое льда. На поверхности раздела между льдом и жидкостью температура соответствует точке замерзания воды. Как правило, вода содержит примеси, которые понижают ее точку замерзания в зависимости от их концентрации. Когда вода на поверхности раздела (замерзания) превращается в лед, примеси путем диффузии переносятся в глубь жидкости. Диффузия происходит очень медленно, поэтому около поверхности

раздела концентрация примесей оказывается самой высокой.

Это состояние называется структурным переохлаждением. Оно неустойчиво, в результате чего поверхность замерзания движется вниз не как плоскость, а в виде отдельных «выступов», по форме напоминающих различные фигуры. В том случае, когда переохлаждение происходит медленно, образуются ячейки льда гексагональной формы, разделенные водой. При быстром переохлаждении кристаллы льда по форме напоминают листья папоротника. Эта так называемая дендритная (древовидная) структура состоит из «листьев» с острыми кончиками; направление роста каждого листа определяется ориентацией кристаллов льда на поверхности замерзания. Соседние кристаллы, имеющие различную ориентацию, порождают «ветви», разрастающиеся в разных направлениях. Возможен случай, когда ни один из выступов не перпендикулярен поверхности замерзания.

Структурное переохлаждение способствует развитию выступов. Представим себе небольшой начальный выступ, случайно образовавшийся во льду. Он имеет ряд преимуществ по сравнению с плоскими участками поверхности раздела, так как вторгается в область, где вода переохлаждена наиболее сильно. Увеличение площади поверхности, обусловленное ростом выступа, способствует удалению примесей и отводу тепла. Следовательно, вода начинает замерзать около выступа, что приводит к его росту в направлении в глубь жидкости.

Элементарный кристалл льда представляет собой пластинку гексагональной формы. Плоскость пластины называют главной плоскостью; ось, перпендикулярную ей, — осью c . Образующийся кристалл растет гораздо быстрее в главной плоскости, чем в направлении плоскостей, параллельных оси c . Если эта ось расположена вертикально, то кристалл растет в горизонтальном направлении в виде пластины. Если эта ось горизонтальная, то кристалл растет в виде горизонтальной игольчатой структуры либо в виде вертикальной пластины; последняя неустойчива и может за-

нять горизонтальное положение. Однако она может и «застрять» в своем первоначальном положении, если в процессе роста встретит другие кристаллы, которые помешают ей повернуться.

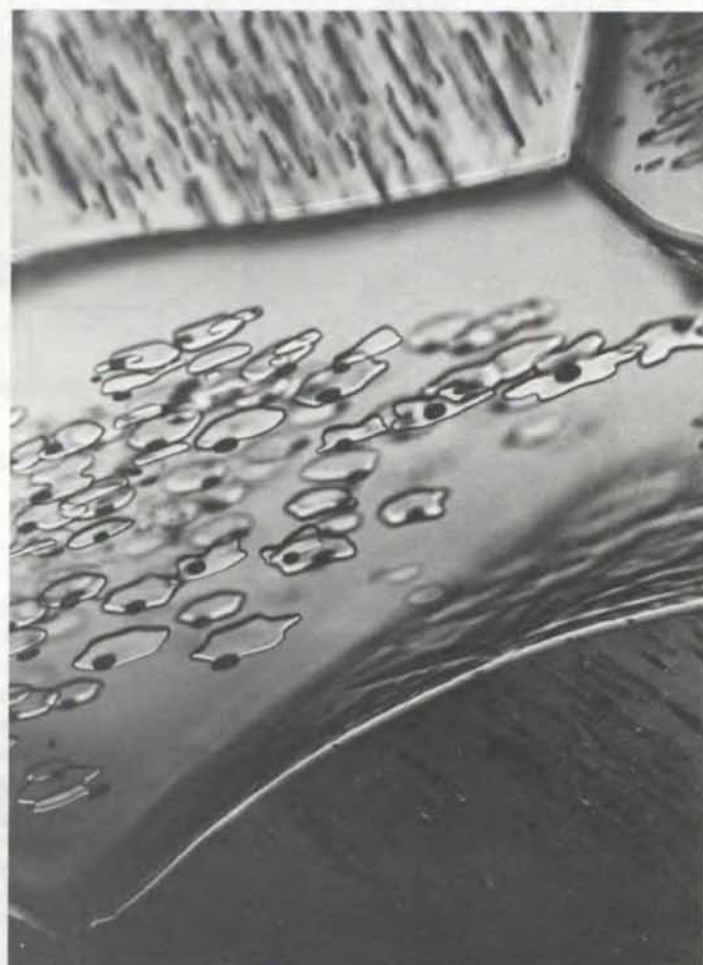
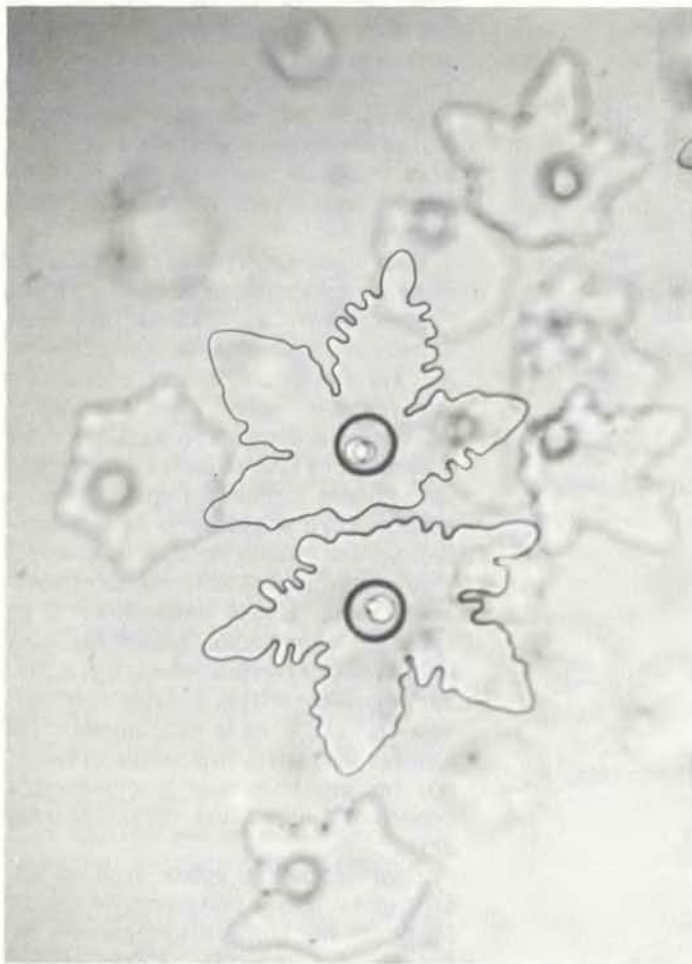
Иногда на поверхности льда можно увидеть ряд таких вертикально расположенных пластин. По мере образования они всплывают, поскольку лед легче воды. Когда поверхностный слой замерзает, верхушки пластин образуют ряд остроконечных холмиков, немного возвышающихся над остальной поверхностью.

Кусок льда чаще всего содержит множество кристаллов, выросших из различных зародышей. Их можно различить, если рассматривать лед в поляризованном свете на смотровом столе по методу, описанному Р. Лоллизом и Р. Барнсом из AT&T Bell Laboratories. Сделайте деревянный короб высотой около полуметра с открытыми боковыми сторонами и верхом (см. нижний рисунок на с. 87). Дно закройте белой бумагой, отражающей свет. Сверху положите стекло. Осветите бумагу ярким светом с обеих сторон.

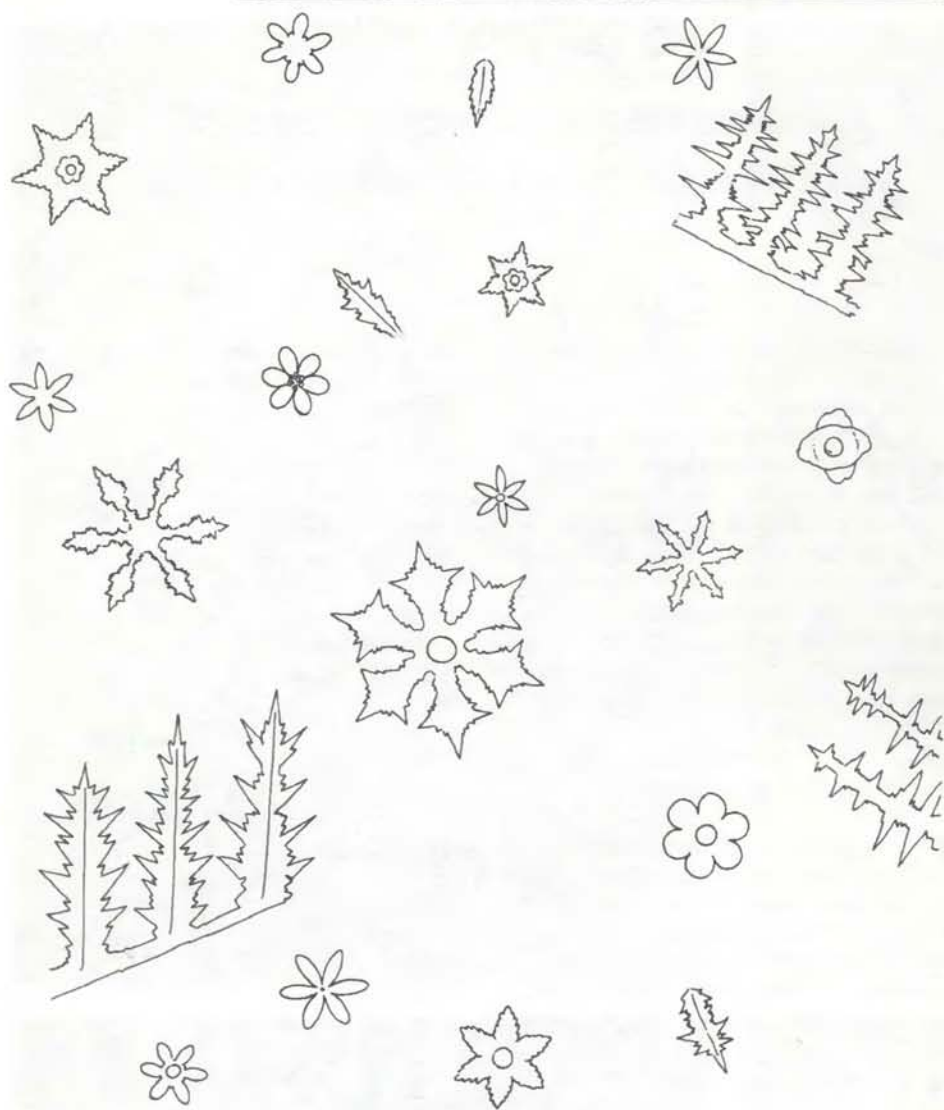
На стекло положите поляризационный фильтр, а на него — тонкую пластинку льда. На лед положите второй поляризационный фильтр, чтобы оси двух фильтров были перпендикулярны друг другу. (Если есть опасность, что лед может повредить фильтры, поместите каждый из них между стеклами и обклейте полученный «сэндвич» по краям клеевой лентой.) Различные кристаллы будут казаться окрашенными в разные цвета (некоторые будут серыми). Цвета будут изменяться, если вращать ледяную пластинку между фильтрами вокруг вертикальной оси. Кристаллы, ось c которых вертикальна (направлена вдоль луча зрения), будут казаться серыми с неизменной яркостью. Кристаллы, ось c которых сильно отклонена от вертикали, при вращении ледяной пластинки меняют яркость, а если пластинка достаточно тонкая, то и цвет.

Небольшое расхождение между осью c и направлением луча зрения можно обнаружить с помощью прозрачного стеклянного шарика, если поместить его между пластинкой льда и верхним фильтром. Шарик должен касаться фильтра, но не льда. Глядя сквозь верхний фильтр и шарик, можно увидеть темный крест. Если ось c совпадает с направлением луча зрения, то крест располагается по центру шарика; с увеличением расхождения между двумя направлениями крест смещается от центра.

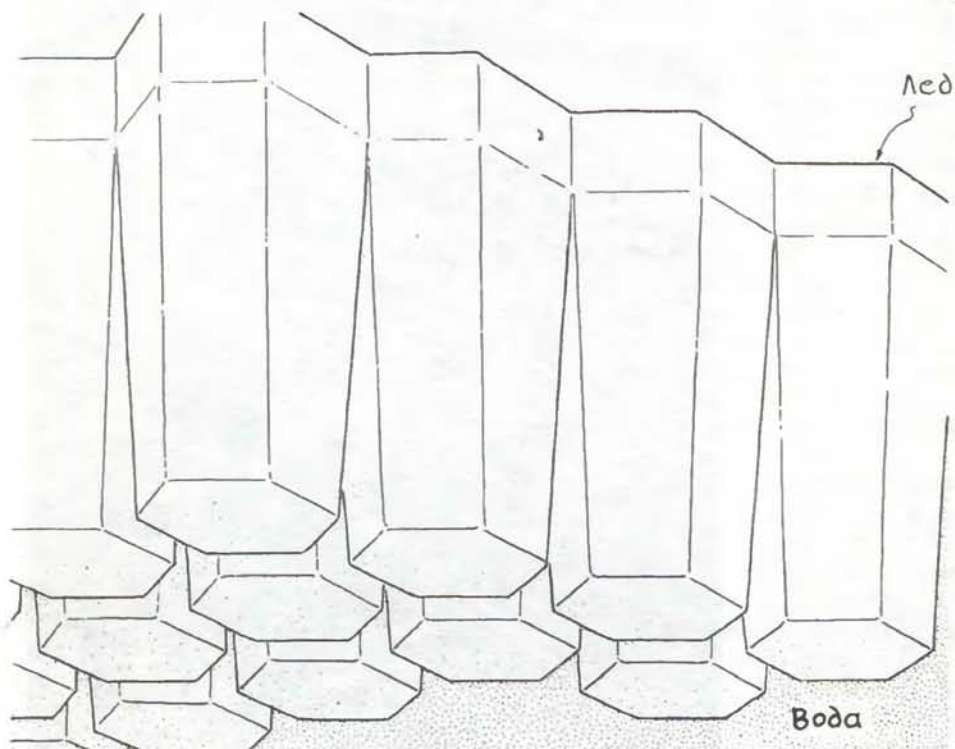
Чтобы получить тонкую ледяную



Фигуры Тиндаля во льду



Возможные фигуры Тиндаля



Рост «выступов» поверхности замерзания

пластинку, достаточно положить кусок льда на металлическую тарелку и оставить его при комнатной температуре. Тепло быстро проходит через тарелку, и лед начинает плавиться. Когда нижняя поверхность куска льда станет ровной, переверните его. Если кусок слишком велик, погрейте его на сковородке.

Как правило, кристаллы льда не бывают идеальными, поскольку в них присутствуют дислокации, которые нарушают кристаллическую структуру. На границах между соседними кристаллами также имеются «несовпадения» атомов. Чтобы выявить на поверхности кубика льда направления дислокаций и границы кристаллов, я нагревал его излучением от настольной лампы. Через несколько минут я убирал лампу и рассматривал поверхность льда. Вдоль дислокаций и на границах кристаллов плавление льда происходит быстрее, чем в других областях поверхности, в результате чего там остаются узкие «царапины». Не следует нагревать лед слишком быстро, так как поверхность становится неровной и царапины трудно разглядеть.

Если положить кубик льда на поверхность, плохо проводящую тепло, он будет постепенно нагреваться от комнатного воздуха. Когда кубик примет температуру, равную температуре таяния, на границах между кристаллами и в направлении дислокаций образуются тонкие трубочки, которые я назвал «червоточинами». По этим трубочкам изнутри кубика к поверхности поднимаются вода и пузырьки воздуха; на поверхности вода и воздух с брызгами вырываются наружу, что можно уловить на слух, особенно если кубик лежит на тарелке.

Чтобы изучить этот процесс, я положил кубик льда на описанный выше смотровой стол для наблюдений, подобный тому, что сделали Лодиз и Барнс. Лист стекла я положил одним концом на картонную коробку, а другим на миску. Стекло было наклонено так, что тающая вода стекала в миску. От скольжения кубик удерживали несколько капель клея, нанесенных на стекло. Свет от настольной лампы отражался от белой бумаги под стеклом и проходил через лед.

Пузырьки воздуха, находившиеся в «червоточинах», блестели, сильно контрастируя со льдом. Вода была заметна хуже. По-видимому, воздух и вода проталкиваются через трубочки под давлением, создающимся в мутной сердцевине кубика. По мере таяния льда на стенках трубочек последние увеличиваются в диаметре, при этом находящиеся в них воздушные

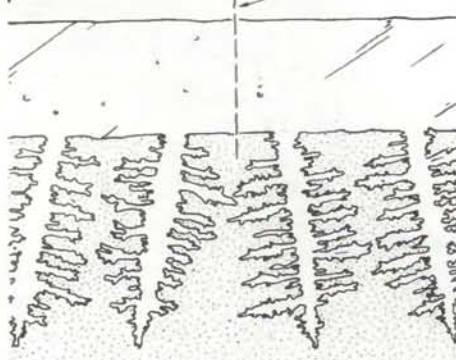
пузырьки и вода замедляют свое движение.

Кубики льда, которые я сделал из водопроводной воды, содержали множество мелких пузырьков и трубочек, наполненных воздухом. Когда вода на шести гранях кубика замерзает и лед продвигается вглубь, растворенный в воде воздух выделяется и соединяется в пузырьки. Пузырек, образующийся на нижней грани кубика, обычно отрывается и всплывает к верхнему слою льда. Здесь поверхность раздела вода — лед может обогнуть его, оставляя пузырек почти сферическим. В другом случае по мере продвижения этой поверхности пузырек может «тащить» за собой воздух; так образуются трубочки. Трубочка вытянута примерно параллельно направлению распространения поверхности раздела и, как правило, направлена к центру кубика. Трубочка заканчивается в том месте, где поверхность раздела обходит ее, прекращая доступ воздуха от оставшейся жидкости.

Образование трубочки зависит от двух противодействующих факторов: скорости продвижения поверхности раздела вода — лед и скорости, с которой растворенный воздух диффундирует к такому месту, где находится трубочка, и соединяется с содержащимся в ней воздухом. Скорость продвижения поверхности раздела определяется тем, насколько быстро тепло передается от поверхности раздела окружающему воздуху через лед. Чем глубже в кубик льда продвигается поверхность раздела, тем толще слой льда, через который должно пройти тепло, и тем меньше скорость теплопередачи. Кроме того, с уменьшением количества воды, содержащейся в кубике, диффузия воздуха в пузырек, находящийся в трубочке, может возрасти. Эти изменения приводят к тому, что большая часть трубочек расширяется по направлению к сердцевине кубика. У внешних концов трубочек заметны небольшие закручивания, связанные, возможно, с тем, что скорость продвижения поверхности раздела не равномерна.

У многих трубочек диаметр периодически меняется. Эти вариации возникают, вероятно, из-за циклических изменений температуры окружающего воздуха. В моем морозильнике температура изменяется в пределах от -6 до -14 °C. В «теплый» период цикла замедляется передача тепла через лед, а значит, и продвижение поверхности раздела. Диффузия воздуха в трубочку вызывает увеличение диаметра воздушного пузырька на входе в трубочку, и поэтому ее диаметр возрастает. В «холодный» период цикла

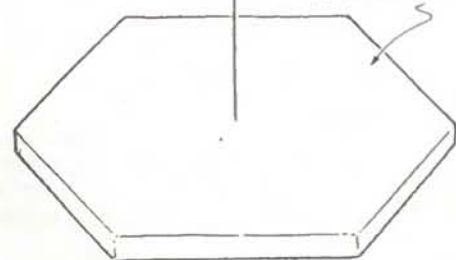
Граница между двумя кристаллами



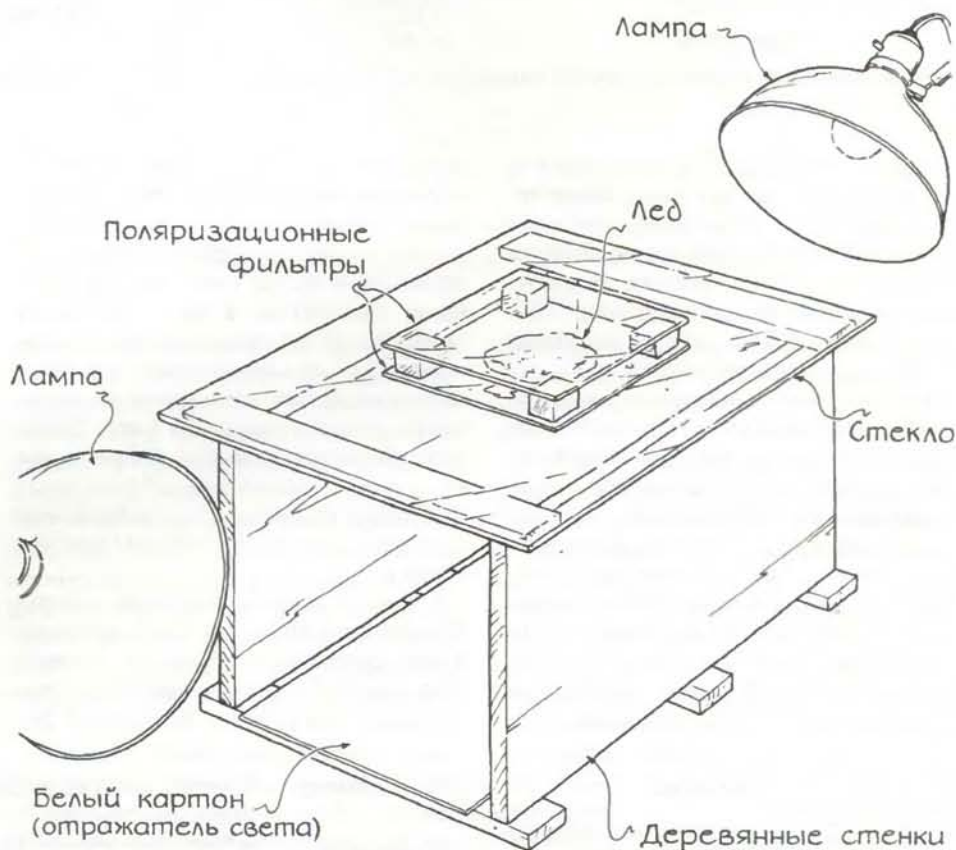
Дендритный рост двух кристаллов

Ось с

Главная плоскость



Геометрия кристаллов льда



Смотровой стол, сделанный Р. Лодизом и Р. Барном

передача тепла идет быстро; продвижение поверхности раздела опережает диффузию воздуха в пузырек на входе в трубочку, поэтому трубочка становится уже. Периодичность этих вариаций диаметров трубочек усложняется многими факторами, включая увеличение расстояния, которое тепло должно пройти во льду.

Трубочки, которые образуются во льду, замерзающем снизу, вертикальные, узкие и мало изменяются в диаметре. Такая однородность — следствие двух факторов. Передача тепла через нижний слой льда обычно подвержена влиянию изменений температуры воздуха в морозильнике. В допол-

нение к этому пузырьки, образующиеся на входе в трубочку, по достижении определенного размера лопаются, благодаря чему все трубочки оказываются примерно одинакового диаметра.

Когда замерзание достигает середины кубика, образование воздушных пузырьков и захват льдом примесей усиливаются. Сердцевина кубика кажется мутной именно потому, что воздушные пузырьки и примеси интенсивно рассеивают свет. Толщина этой области обычно меньше ее ширины, поскольку замерзание идет быстрее сверху, чем с боков или нижней грани кубика.



Давление воздуха в пузырьках и расширение воды при замерзании часто разрушают кубик льда. Для того чтобы получить кубик, свободный от пузырьков, и избежать его разрушения, делайте лед из дистиллированной воды, прокипятив ее не менее 5 мин для удаления воздуха.

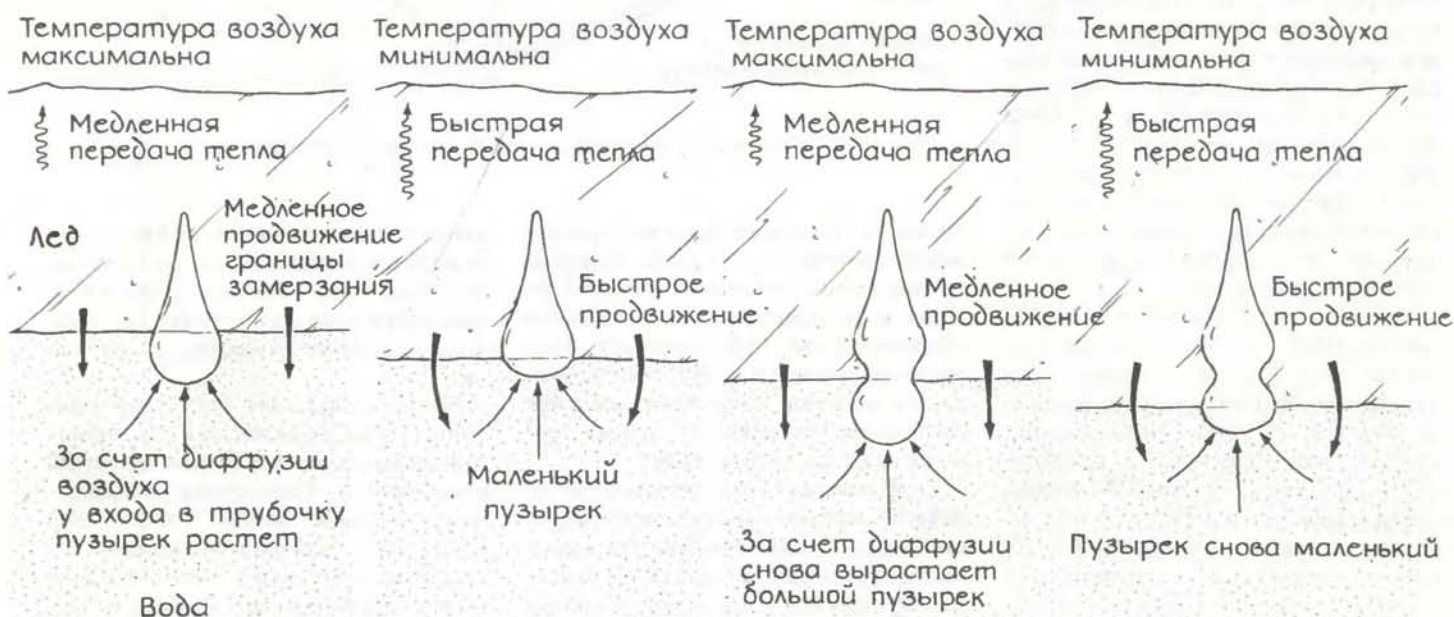
Кубики, которые я делаю в ванночке для льда, имеют четыре-пять мутных слоев, наклоненных относительно горизонтальной плоскости к углу ванночки. Их образование связано, скорее всего, с циклическим изменением температуры в морозильнике. Когда воздух в морозильнике охлаждается наиболее сильно, быстрая теплопередача через лед заставляет поверхность раздела вода — лед быстро продвигаться в глубь жидкости свер-

ху и с боковых сторон, граничащих со стенками ванночки. Быстрое продвижение поверхности раздела приводит к вмерзанию пузырьков воздуха и примесей в лед до того, как они успевают выделиться в воду. Во время «теплой» фазы продвижение поверхности раздела замедляется, пузырьки воздуха и примеси получают возможность выделиться в воду и лед становится более прозрачным. Ориентация воздушных пузырьков вблизи мутных слоев указывает на продвижение поверхности раздела в разных направлениях.

Если лед освещается ярким солнечным светом, он может таять изнутри, а его поверхность остается замерзшей. На этот процесс впервые обратил внимание в 1858 г. английский фи-

зик Джон Тиндаль, известный своими работами в области акустики. Он считал, что тепловое излучение Солнца расплавляет некоторые области внутри льда. Поскольку при таянии происходит уменьшение объема льда, в жидкости образуются маленькие пузырьки водяного пара. Рассеяние света на этих пузырьках приводит к тому, что лед как бы вспыхивает блестящими точками.

Тиндаль обнаружил, что тонкие области (пятна) внутреннего таяния могут принимать различную форму. Наиболее часто встречаются овальные пятна, более редко — пятна с гексагональной симметрией типа снежинок. Другие области по форме напоминают листья папоротника, и тогда в них выделяют собственно лист и



Изменение диаметров трубочек в плавящемся льду

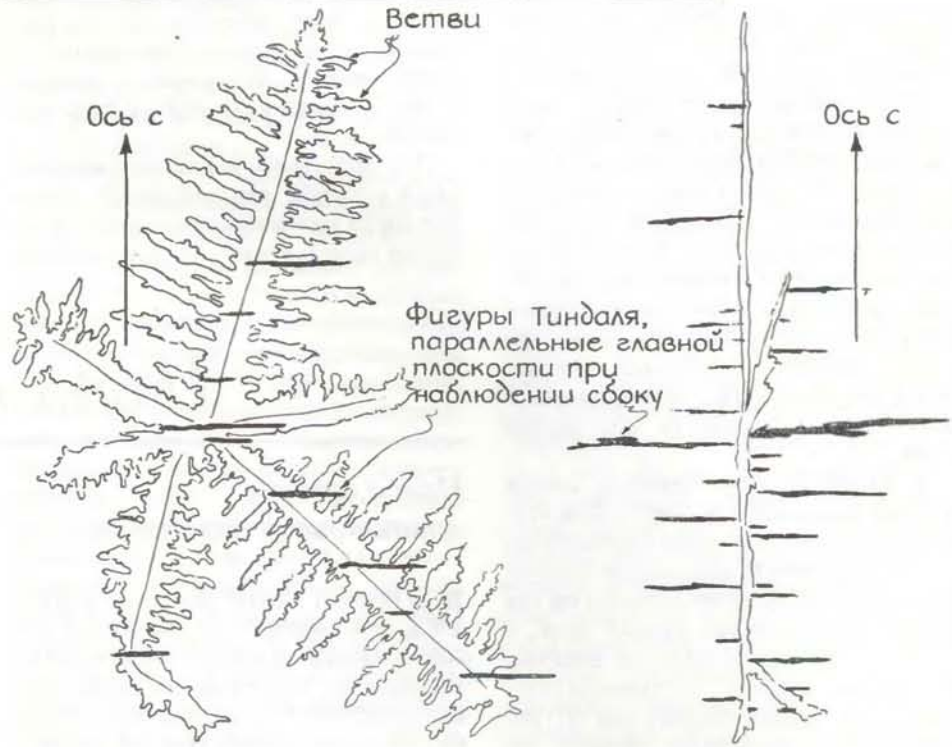
стебель, к которому этот лист прикреплен. Тиндаль назвал эти пятна «жидкими цветами», но сейчас их называют «фигурами Тиндаля».

Тиндаль наблюдал эти фигуры непосредственно под ледяной поверхностью замерзшего пруда, освещенной ярким солнечным светом. Невооруженным глазом он мог легко разглядеть самые большие фигуры длиной несколько миллиметров; чтобы увидеть более мелкие фигуры, требовалось увеличительное стекло. Большинство фигур было расположено параллельно поверхности пруда. По мнению Тиндаля, предпочтительность этой ориентации связана с тем, что поверхность раздела лед — вода всегда приблизительно горизонтальна.

В 1964 г. К. Хигути из Университета г. Хоккайдо предложил иное объяснение. По его мнению, симметричные фигуры Тиндаля лежат в плоскостях, параллельных главной плоскости того кристалла льда, в котором они образуются. Что касается папоротникообразных фигур Тиндаля, то они лежат в плоскостях, которые перпендикулярны главной плоскости и, следовательно, параллельны оси c кристалла льда. Таким образом, расположение фигур по отношению к поверхности пруда зависит от ориентации кристаллов в момент их образования. Хигути сообщил также, что листья папоротникообразных фигур Тиндаля лежат под углом примерно 45° к оси c . В некоторых фигурах листья перпендикулярны стеблю, в других они расположены под острым углом к нему. Пока не известно, от чего зависит величина угла.

Все фигуры Тиндаля образуются, по-видимому, в тех местах, где имеются дефекты кристалла льда или содержатся примеси. Неоднородность таких областей увеличивает поглощение света, что приводит к таянию. Однако механизм образования фигур Тиндаля пока еще понят плохо. Ч. Найт и Н. Найт из Национального центра атмосферных исследований в Боулдере (шт. Колорадо) предположили, что нагревание ведет сначала к испарению. После этого лед, окружающий полость, в которой содержится пар, начинает таять и образуются фигуры Тиндаля. Наличие папоротникообразных фигур Тиндаля означает, что процесс таяния является обратным по отношению к обычному древообразному процессу замерзания.

Супруги Найт открыли также фигуру Тиндаля, в которой пузырьки водяного пара отсутствуют. В тех местах, где лед сжат с обеих сторон от плоскости, вдоль которой проходит трещина, нагревание вызывает таяние и



Папоротникообразные фигуры Тиндаля, которые наблюдал К. Хигути

образуются тонкие изогнутые линзы воды. Каждая линза приблизительно параллельна главной плоскости кристалла. При образовании линзы поверхности таяния движутся в противоположных направлениях от плоскости, в которой находится трещина. Молекулы воды, находящиеся на поверхности раздела, из-за сжатия движутся в основном к этой плоскости. Таким образом, изменения объема, которое приводит к возникновению пузырьков водяного пара, не происходит.

Супруги Найт выращивали кристаллы льда, замораживая дистиллированную воду в ведре. Затем прямоугольные пластинки со стороной несколько сантиметров оставались на 5 мин на воздухе при комнатной температуре, чтобы они нагревались до температуры таяния. После этого каждая пластинка подвешивалась перед кварцево-йодистой лампой мощностью 1000 Вт с рефлектором. Под действием излучения лампы в кристаллах появлялись фигуры Тиндаля.

Когда пластинку льда облучали с наибольшей интенсивностью, во всем объеме льда образовывалось «облако» мельчайших фигур Тиндаля, распространявшееся со скоростью 2 см/с. Каждый элемент в «облаке» представлял собой гексагональную полость, заполненную водой, с пузырьком водяного пара. Полости не были соединены между собой; поэтому казалось удивительным, что они образуются вместе. Исследователи

предположили, что они порождаются механически под действием напряжения, сопровождающего процесс таяния.

С. Мае из Университета г. Нагоя в Японии изучал образование обычных фигур Тиндаля на границе зерен льда, который он делал из дистиллированной, дегазированной и деионизованной воды. Для исследования образца он оставлял его при комнатной температуре, пока не замечал, что вдоль границ между кристаллами возникают струйки воды. Это означало, что лед принял температуру таяния. По-



Плавление вокруг пузырька, вмерзшего в лед

сле этого он фокусировал свет от маленькой лампы на область размером несколько миллиметров внутри льда.

Среди прочих фигур Тиндаля, возникавших под действием лампы, была одна напоминающая цветок с 12 лепестками. Остается неясным, как могла возникнуть симметрия 12-го порядка, если кристалл льда обладает симметрией 6-го порядка. Мне наблюдал также образование папоротникообразных фигур Тиндаля. Они, подобно фигурам, увиденным Хигути, лежали в плоскостях, перпендикулярных главной плоскости кристаллов льда.

Я изучал фигуры Тиндаля, сделав кубики льда в морозильнике. Для этого я взял воду, которую прокипятит, чтобы уменьшить количество растворенного в ней воздуха. Перед тем как начать исследование кубика льда, я оставлял его в комнате на воздухе, чтобы он нагрелся до температуры таяния. В первый момент над его поверхностью возникало облачко из сконденсировавшегося пара, но через несколько минут поверхность покрывалась слоем тающей воды и вновь становилась прозрачной. К этому времени через «червоточины» начинали выходить вода и воздух. Я клал лед на стекло смотрового стола и изучал его с помощью часовой лупы.

В первых опытах я в течение нескольких минут нагревал кубик с помощью настольной лампы. В большинстве случаев области внутреннего таяния имели форму овалов, но я заметил также несколько папоротникообразных фигур и одну яркоосвещенную великолепную гексагональную фигуру. У меня было подозрение, что настольная лампа — слишком слабый источник тепла для этих опытов. Тогда я взял кварцевый нагреватель мощностью 1500 Вт и поднес к нему кубик льда, защитив руку толстым куском ткани. Через несколько минут я рассматривал кубик.

Награда не заставила себя ждать. Таявший лед содержал шестиугольные звезды и папоротникообразные структуры, а также фигуры с резкими границами, которые плохо поддавались описанию. Я находил фигуры, вначале фокусируя линзу на какой-нибудь пузырек, а затем осторожно изменяя расстояния от линзы до льда, чтобы в фокус попала соответствующая область таяния. Одновременно я регулировал освещение кубика и его положение на стекле, чтобы улучшить контрастность при наблюдении.

Фигуры, которые я видел, были довольно тонкими. Рассматривая их с боку под другим углом, я увидел, что они представляли собой тонкие лин-

зы воды. Многие необычные фигуры меняли свою форму, превращаясь в тонкие овалы. Возможно, я прервал их рост, когда клал лед на стол для наблюдений.

Под действием тепла лед расплавлялся и вокруг тех пузырьков, которые были уже заморожены в лед. Наблюдая сквозь верхнюю грань кубика,

я видел эти пузырьки, окруженные каждой овальной областью таяния. Часто один пузырек имел две перекрывающиеся овальные области. Одна располагалась сверху пузырька, а другая — внизу; это можно было установить, если наблюдать их под другим углом.

Наука и общество

Новое оружие против раковых клеток

МНОГИЕ ВИДЫ раковых опухолей, вначале поддающиеся лечению каким-то определенным цитотоксическим средством, в конце концов становятся устойчивыми не только к нему, но, к несчастью, и к другим, даже иным по химической природе препаратам, которых больной прежде не получал. Почему? Данные нескольких различных линий исследований позволяют создать единую картину универсального защитного механизма, который активируется при лечении лекарствами.

Две группы — одна под руководством А. Пастана и М. Готтесмана в Национальном институте рака и вторая под руководством И. Ронинсона в Медицинском колледже Иллинойского университета — сконцентрировали усилия на изучении генетической основы множественной устойчивости клеток человека к лекарственным препаратам. Работая с культурами раковых клеток, исследователи изучили специфический сегмент ДНК под названием *mdr 1*. Ранее на линии клеток китайского хомячка были получены данные, указывающие на то, что последовательность *mdr 1*, возможно, играет ключевую роль в возникновении множественной устойчивости к препаратам.

Ронинсон, работавший в то время в Массачусетском технологическом институте, в сотрудничестве с группой из того же института, возглавляемой Д. Хаусманом, сравнил генетический материал из легочных клеток хомячка, приобретших устойчивость к определенному цитотоксическому препарату, и из исходных клеток, чувствительных к нему. Цель эксперимента заключалась в том, чтобы обнаружить те последовательности ДНК, которые в устойчивых клетках имеются в большем числе копий, чем в чувствительных. Предполагалось, что такие амплифицированные после-

довательности могут иметь отношение к способности клеток противостоять цитотоксическим препаратам. В двух линиях устойчивых клеток были найдены сходные амплифицированные последовательности.

Ронинсон и его коллеги выделили и клонировали амплифицированную последовательность и, используя ее, сконструировали ДНК-пробу, способную специфически связываться с близкими по структуре последовательностями в суммарной ДНК из линии раковых клеток человека. ДНК-проба связывалась с двумя разными сегментами ДНК, которые в устойчивых клетках были амплифицированы. Эти сегменты в свою очередь были выделены; их использовали в качестве пробы для специфического связывания матричной РНК (мРНК) в клетках человека. Присутствие в клетках мРНК, комплементарной той или иной последовательности ДНК, показывает, что эта последовательность транскрибируется и, возможно, кодирует белок. В данном случае экспрессировалась, по-видимому, лишь одна из последовательностей ДНК, обозначенная *mdr 1*.

Пастан, Готтесман и их коллеги в сотрудничестве с Ронинсоном установили, что количество мРНК *mdr 1* в культивируемых опухолевых клетках человека, соответствующих нескольким различным типам рака, коррелирует со степенью устойчивости этих клеток к лекарственным средствам. В своем сообщении, опубликованном в журнале «Science», они приводят данные о том, что тысячекратному увеличению устойчивости к колхицину (это цитотоксический препарат, который обычно применяют при подагре) отвечает увеличение количества мРНК *mdr 1* в 820 раз. В линиях клеток, которые обладали высокой устойчивостью к колхицину и обычным противораковым средствам, амплифицирована сама последовательность ДНК *mdr 1*; в клетках с меньшей устойчивостью количество копий гена *mdr 1* не больше, чем в нормаль-

ных клетках, однако степень его экспрессии выше.

Эти наблюдения привели авторов к предположению о том, что отбор на множественную устойчивость происходит в две стадии: сначала в результате мутации либо негенетического изменения в ДНК осуществляется активация гена *mdr 1* и усиливается его экспрессия; затем ген амплифицируется, что повышает уровень устойчивости клетки.

Каким образом ген *mdr 1* обеспечивает защиту клетки от различных цитотоксических препаратов? Ответ на этот вопрос могут дать исследования поверхностных белков клеток, обладающих множественной устойчивостью. Такие исследования ведутся уже несколько лет В. Лингом из Института рака пров. Онтарио (Канада) и его коллегами. Когда устойчивые клетки в культуре подвергают действию цитотоксических веществ, в них накапливается значительно меньше этих веществ, чем в чувствительных клетках. Казалось вероятным, что различие между чувствительными и устойчивыми клетками связано с изменениями свойств клеточной мембраны.

Линг и другие исследователи обнаружили, что в мембране клеток, устойчивых к цитотоксическим препаратам, в необычайно большом количестве содержится белок, который они назвали Р-гликопротеином. Моноклональные антитела против этого белка проявляли сродство к клеточной мембране, степень которого коррелировала с уровнем устойчивости клеток. С помощью антител было также установлено, что у больных с устойчивой к лекарствам злокачественной опухолью яичника на поверхности раковых клеток имеется избыток Р-гликопротеина. Было сделано предположение, что Р-гликопротеин влияет на проницаемость клеточной мембраны и, когда он присутствует в большом количестве, ее свойства изменяются так, что ограничивается накопление внутри клетки чужеродных соединений, в том числе цитотоксических препаратов.

Судя по всему, ген Р-гликопротеина очень близок по структуре или же идентичен *mdr 1*. Линг и его коллеги, а также группа под руководством П. Мелеры и Дж. Бидлера из Онкологического центра им. Слоан-Кеттеринга (США) и группа П. Борста из Института рака (Нидерланды) идентифицировали и клонировали ДНК, кодирующую Р-гликопротеин. Исследователи установили, что, подобно *mdr 1*, последовательность ДНК Р-гликопротеина амплифицирована в линиях клеток, обладающих множественной устойчивостью к цито-

токсическим препаратам. Есть и другие свидетельства в пользу того, что эти две последовательности ДНК родственны: они находятся в одной и той же хромосоме и кодируют мРНК одинаковой длины.

Тесная связь Р-гликопротеина и его гена с множественной устойчивостью опухолевых клеток к цитотоксическим препаратам указывает на возможность новых подходов в терапии рака. С помощью моноклональных антител против Р-гликопротеина или генетических проб для выявления мРНК *mdr 1* можно было бы определять активность гена в клетках, полученных при биопсии опухоли, и на основании этого судить о степени устойчивости раковых клеток к цитотоксическим препаратам. Если действительно Р-гликопротеин играет ключевую роль в возникновении множественной устойчивости к препаратам, антитела к нему будут весьма полезны при лечении рака: инактивируя белок, они могут возвращать клеткам чувствительность к цитотоксическим препаратам.

Новая конструкция солнечного элемента

Сторонники использования солнечной энергии давно пытаются найти такой экономически эффективный способ преобразования солнечного света в электроэнергию, который позволил бы получать ее в количестве, достаточном для питания сетей электроснабжения. До сих пор все попытки реализовать эту идею оказывались тщетными из-за высокой стоимости и низкого КПД имеющихся фотоэлектрических, или солнечных, элементов. Группа исследователей Станфордского университета предложила новый метод преобразования солнечной энергии, который по эффективности превосходит все известные ранее. Это достижение является существенным шагом вперед на пути к экономичному получению электроэнергии с помощью солнечных батарей.

Солнечные элементы делают из полупроводниковых материалов, таких, как кристаллический кремний, в котором под действием света определенной энергии электроны утрачивают свои связи с атомами в кристаллической решетке и становятся свободными. Свободные электроны могут перемещаться в толще кремния, оставляя на покинутых местах «дырки» (незаполненные электронные уровни). Путем «вкрапления» атомов других элементов в кристаллическую структуру кремния (процесс, называе-

мый легированием) можно получить полупроводник либо с электронной проводимостью, либо с дырочной (в первом случае он называется полупроводником *n*-типа, во втором — *p*-типа). Заряды, возникающие под действием фотонов на границе двух слоев полупроводника *n*-типа и *p*-типа, разделяются: электроны диффундируют в слой *n*-типа, а дырки — в слой *p*-типа.

Создающийся в результате направленного движения зарядов электрический ток можно отвести, если к внешним поверхностям этой двухслойной структуры подсоединить проводники. К сожалению, поскольку в обычном солнечном элементе эти проводники «закрывают» поверхность полупроводника, какая-то часть света неизбежно блокируется и не падает на поверхность. Кроме того, присутствие атомов легирующих элементов в областях кремния, расположенных непосредственно вблизи тех мест, где подсоединены отводящие ток проводники, приводит к тому, что свободные электроны рекомбинируют с дырками, и в результате электрический ток уменьшается. Это явление дополнительно снижает КПД солнечных элементов.

Упомянутым исследователям удалось уменьшить потери, обусловленные как первой, так и второй причинами, путем легирования крошечных областей с внутренней стороны слоя диоксида кремния. Тонкие «нити» осажденного алюминия выполняют роль токопроводящих элементов на крошечных *n*- и *p*-областях. Такая необычная конструкция исключает «загораживание» падающего на внешнюю поверхность солнечного света и сводит к минимуму размер областей, подвергаемых легированию. В результате изготовленный в Станфордском университете солнечный элемент имеет КПД 27,5% (при освещении направленным светом). Хотя лучшие образцы солнечных элементов другой конструкции, сделанные из арсенида галлия, имеют КПД всего на 1,5% ниже, стоят они значительно дороже, а технология их изготовления более трудоемкая.

Авторы разработки нового устройства надеются, что им удастся улучшить конструкцию и достичь КПД, равного 29%. В то же время уже сейчас проводят исследования, цель которых заключается в том, чтобы определить, пригодны ли такие солнечные элементы для массового производства, т. е. будет ли стоимость новых элементов достаточно низкой, чтобы их можно было использовать для получения электроэнергии в больших количествах.

Занимательный компьютер

Фантастический полет над необитаемой базой данных

А. К. ДЬЮДНИ

Я ЛИХОРАДОЧНО изучал приборную панель самолета «Чесна 182». Наверное, с моей стороны было неразумно пытаться совершить полет в одиночку без надлежащей подготовки. Может быть, следовало взять с собой опытного пилота? На чикагском аэродроме Мейгс-Филд не было видно ни души, даже ни один механик не вышел покурить на солнышке. Единственно на что я мог положиться в этой сумасбродной затее — это на руководство для пилота, на изучение которого я потратил не больше 10 минут.

Думаю, что я чувствовал бы себя увереннее, если бы у меня в руках была ручка управления или штурвал. Еще ребенком я по многу раз смотрел фильмы о приключениях летчиков-асов и хорошо запомнил основные приемы управления самолетом. Однако в этом самолете все было по-другому. Он управлялся с клавиатуры стоящего передо мной терминала.

Со вздохом я раскрыл страницу 46 руководства. Клавиша F2 слегка приоткрывает дроссель, клавиша F4 широко раскрывает его. Будучи человеком не совсем безрассудным, я с опаской нажал на клавишу F2. Мягкий шум двигателя несколько усилился. Взлетная дорожка побежала мне навстречу, и на какое-то мгновение мною овладела паника. Самолет почти сразу же начал уходить в сторону от бетонной полосы. По невежеству я не прочел ничего о руле горизонтального управления или о переднем шасси. Спасти меня могли только элероны — клавиша 4 (левый крен) и клавиша 6 (правый крен). К моему полному изумлению, одна из них стала медленно, но верно возвращать самолет на взлетную полосу.

Всего в ста метрах впереди показались голубые воды озера Мичиган. Прибавляю газ — F2, F2, F2, F2. Прибавляю еще. Мотор звучит все мощнее, но самолет упорно отказывается взлетать. Взлетная полоса побежала подо мной еще быстрее, и меня опять охватила паника. Какая же волшебная клавиша поднимет меня в воздух? Вся моя жизнь пронеслась предо мной. Сцены из далекого детства: вот я управляю моделью самолета, это можно было делать лишь с

помощью двух закрылков на хвосте. Руль высоты! Я стал лихорадочно искать «руль высоты» в своем руководстве. Этот руль управляет углом атаки самолета, при его помощи можно приподнять нос самолета. Нажимаю на клавишу 2, и как раз вовремя, еще немного и передо мной разверзлась бы водяная могила. Страшная граница между сушей и водой стала отступать. Самолет был в воздухе! Он набирал высоту как будто по своей воле. Внизу все четче проступала перспектива западной береговой линии озера Мичиган, и в течение какого-то времени я продолжал полет в северном направлении, загипнотизированный своим достижением.

Как уже, наверное, догадались многие читатели, моя кабина находилась в комнате, а роль ручек управления играли клавиши на терминале моего персонального компьютера, который выполнял программу имитации полета. Однако знакомая обстановка ничуть не снижала остроту ощущений. Тот факт, что и самолет, и ландшафт лишь имитировались компьютером, даже усиливал воображение. В этих условиях можно было совершать такие действия, на которые никто бы не отважился, сидя в кабине настоящего самолета. Ведь счет, предъявленный за аварию, будет тоже воображаемым. Я сделал вираж в юго-западном направлении и стал приближаться к Чикаго. Мне захотелось пронестись над Мичиган-авеню и произвести впечатление на многочисленных водителей и пассажиров движущегося по этой оживленной улице транспорта. Часы, вмонтированные в приборную панель самолета, показывали 4 ч 30 мин, как раз начало вечернего часа пик.

Приближаясь к Чикаго, я стал замечать что-то неладное. Были видны лишь несколько зданий, расположенных вдоль берега озера, а на улицах никакого транспорта. Людей тоже не было видно. Может быть, началась атомная война? Я заметил, что принял за часы высьотемер с двумя стрелками, но даже несмотря на то, что сейчас было значительно раньше 4 ч 30 мин, полное отсутствие людей на улицах такого большого города казалось странным. Хотя и неохотно,

но я пришел к выводу: в программе имитации полета просто не нашлось места для людей. Ее база данных и без того была перегружена описанием североамериканского ландшафта, не говоря уже о всевозможных географических подробностях, необходимых для моделирования четырех больших городов и более 20 аэродромов.

В последующих полетах я уже все меньше и меньше думал о недостатке в людском обществе. Слишком интересен был сам полет. В этом со мной, наверное, согласятся многие из тех, кто совершал подобные воздушные путешествия. Программа называется FLIGHT SIMULATOR (Имитатор полета), и в течение уже многих месяцев она была одной из наиболее популярных, если не самой популярной из всех занимательных программ для персональных компьютеров. Существует немало других программ имитации полета, которые можно купить или приобрести бесплатно в различных ассоциациях. Однако как FLIGHT SIMULATOR, так и ряд других аналогичных программ своей популярностью обязаны Б. Артвику, инженеру-программисту из Шампейна (шт. Иллинойс). Более чем кто-либо другой Артвик способствовал «взлету» программ имитации полета, и благодаря его усилиям они теперь могут выполняться на персональных компьютерах. В течение долгого времени компьютерная имитация полета применялась исключительно с целью обучения летчиков (см. статью Р. Хабера «Моделирование условий полета», с. 64—73). Теперь же эти средства доступны практически каждому.

Рассмотрим, в чем должны заключаться особенности таких программ, чтобы поддерживать у пользователя иллюзию реального полета. Во-первых, они должны создавать и несколько раз в секунду воссоздавать ландшафт, видимый из какой-то фиксированной точки. По мере того как моделируемый аэроплан бороздит моделируемые небеса, точка наблюдения перемещается, и поэтому черты проплывающего на экране ландшафта должны вычисляться заново. Более того, для каждой точки наблюдения возможны различные углы зрения. Угол зрения определяется результатами имитации физических особенностей аэроплана, находящегося в полете. Например, если самолет делает крен в сторону, чтобы совершить поворот, угол зрения, так же как и точка наблюдения, должен соответственно меняться. В основном цикле вычислений применяется ряд трюков и осуществляется поиск компромиссных решений, что само по се-

бе не менее увлекательно, чем имитация полета в целом.

Географическая база данных является одним из главных компонентов программы FLIGHT SIMULATOR. Она включает обширный список объектов, необходимых для воссоздания ландшафта территории, над которой желает полетать пользователь (или в которую он не хочет врезаться). Вы можете получить доступ к «сцене» вашего полета, обратившись к иерархической информационной системе и прослеживая за данными «сверху вниз». В массиве памяти под названием USA (США) хранятся названия районов, таких, как Чикаго, Нью-Йорк и Сизтл. Положение самолета задается тремя координатами: x — широта, y — высота над уровнем моря (в метрах) и z — долгота. Программа FLIGHT SIMULATOR сравнивает эти координаты с предельными значениями, ограничивающими каждый район в массиве США. Если, например, x и z задают точку, принадлежащую району Чикаго, то программа выполняет операцию, называемую загрузкой базы данных. В результате этой операции список, в котором хра-

нится информация о районе Чикаго, загружается с магнитного диска в оперативную память компьютера.

Когда в ходе своего первого полета я сделал вираж, повернув по направлению к Чикаго, сначала я не увидел никаких зданий. Однако некоторое время спустя показалась башня Сирз-Тауэр. Затем стали проступать и ее детали. В этом как раз и заключается стратегия программы, позволяющая ей уложиться в пределы имеющегося объема памяти и быстрого действия; особенности ландшафта не отображаются на экране до тех пор, пока в них нет реальной необходимости. В программу встроены две специальные тестирующие процедуры, управляющие появлением и исчезновением на экране тех или иных деталей ландшафта. Первая из них *ifin2d* следит лишь за двумя координатами — широтой и долготой самолета. Выше уже говорилось, каким образом географические районы ассоциируются с этими двумя координатами.

Вторая тестирующая процедура *ifin3d* определяет расстояние до заданной детали ландшафта, и если она находится достаточно близко, про-

грамма отображает ее на экране. По мере того как я приближался к Чикаго, процедура *ifin3d* постоянно вычисляла расстояние от самолета до тех или иных зданий или других ориентиров города, видимых с воздуха. Когда мой самолет приблизился к башне Сирз-Тауэр на расстояние 12 800 м, на экране внезапно появилась миниатюрная копия этого сооружения в виде нескольких мерцающих точек. Когда же расстояние до башни уменьшилось до 7680 м, появились уже некоторые неразличимые ранее детали. Для каждого трех новых значений координат FLIGHT SIMULATOR быстро просматривает список, хранящий все видимые особенности ландшафта, и проверяет их согласно критериям отображения объектов, на которых основана процедура *ifin3d*. Если объект удовлетворяет критериям, программа отображает его на экране таким, каким он должен быть виден из данной точки. Если же объект не проходит теста, он не отображается, и программа переходит к проверке следующего объекта в списке.

Вообще говоря, каждый объект или



Вид статуи Свободы из кабины самолета, построенный программой FLIGHT SIMULATOR

каждая особенность моделируемого ландшафта определяется в программе списком точек, линий и поверхностей. Поскольку изображение вычисляется пять раз в секунду, достаточно часто для того, чтобы воспользоваться инерционностью человеческого зрения, линии и поверхности должны отображаться за минимально возможное время. Поэтому даже элементарные графические операции были реализованы в программе самым тщательным образом. Артвик описал эти операции в своей замечательной книге «Microcomputer Displays, Graphics, and Animation» («Микрокомпьютерные изображения, графика и мультипликация»).

Например, в основном методе, применяемом для изображения линии, операции умножения и деления не применяются, поскольку для их выполнения требуется в 10 и даже в 100 раз больше времени по сравнению с операциями сложения и вычитания. В данном случае метод изображения линии основан на тщательном анализе временных затрат на каждую выполняемую команду. Получившийся в результате остроумный алгоритм

изображения линии по существу состоит лишь из четырех команд: сложения, сравнения, перехода и команды отображения. Пусть, например, точка с координатами (a, b) была только что высвечена на линии с (положительным) наклоном $1/4$. Программа входит в цикл, в котором она повторно прибавляет 1 к значению координаты a и $1/4$ к специальной сумме, называемой ошибкой прослеживания, и затем тестирует текущее значение этой суммы. Если ошибка прослеживания оказывается большей или равной какому-нибудь целому числу, то программа выходит из цикла и высвечивает следующую точку, в данном случае с координатами $(a + 4, b + 1)$.

Поверхности программа изображает посредством метода, который едва ли поддается описанию, но зато чрезвычайно быстро реализуется в компьютере. В нескольких словах этот процесс можно представить следующим образом. Программа изображает многоугольник, ограничивающий данную поверхность, и затем «заштриховывает» его внутреннюю область. После того как вычислена

форма многоугольника, специальная графическая процедура вначале определяет сканирующие линии, пересекающие на экране полученный многоугольник. Для каждой такой линии сканирования определяются пересекаемые ею стороны многоугольника, а затем эти стороны сортируются (упорядочиваются) в соответствии с порядком, в котором линия сканирования пересекает их слева направо. Затем процедура рассматривает каждый пиксел, или элемент изображения, на линии сканирования по порядку слева направо. Когда линия встречается с первой стороной многоугольника, она начинает высвечивать точки определенного цвета, выбранного для представления данной поверхности. Как только линия сканирования доходит до следующей стороны, отображение точек прекращается. При встрече со следующей стороной отображение возобновляется и т.д.

Описанный метод включения-выключения отображения вдоль линии сканирования экрана основан на фундаментальном положении топологии на плоскости: любой многоугольник делит плоскость на две части — внут-



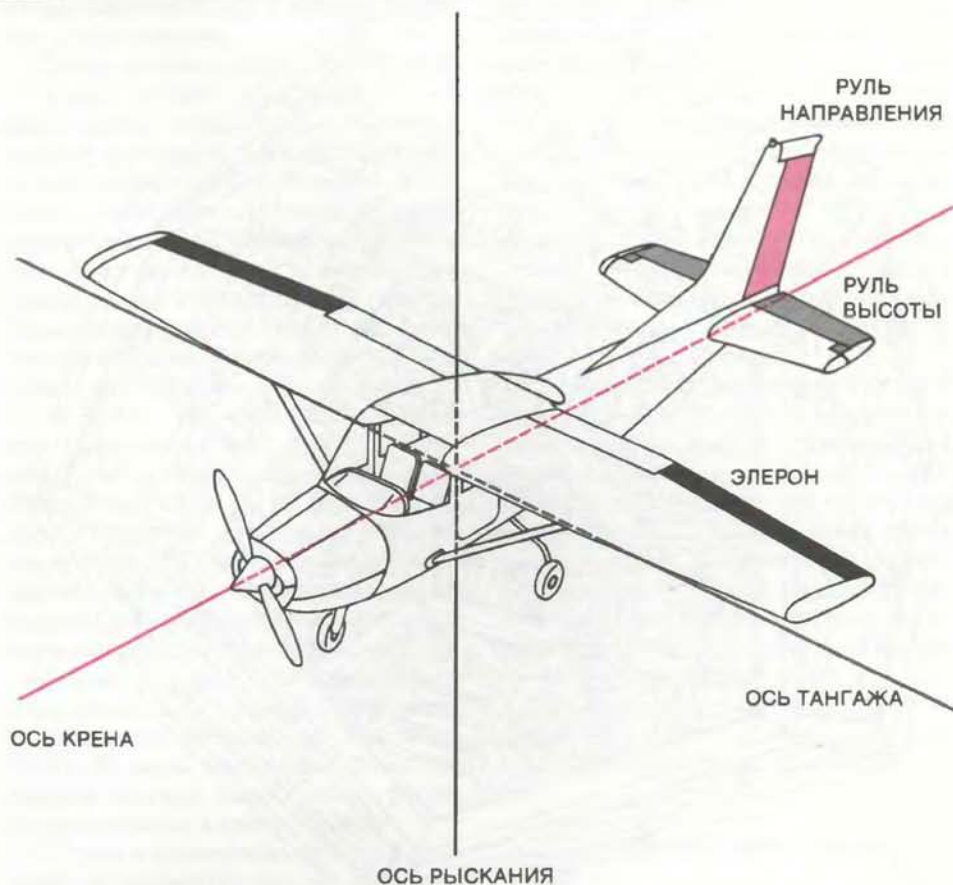
По смертельно опасному курсу на Манхэттенский мост

реннюю и внешнюю. Поэтому любая линия, пересекающая сторону многоугольника, переходит из внутренней части (принадлежащей отображаемой области) во внешнюю (не принадлежащую ей) или наоборот. Большинство поверхностей, отображаемых программой FLIGHT SIMULATOR, ограничены сравнительно простыми многоугольниками. Например, после того как я покинул зону аэродрома Мейгс-Филд, передо мной до самого горизонта протянулась береговая линия озера Мичиган. Эта линия представляла собой несколько сторон многоугольника, очерчивающих залив, ограниченный отмелью, тянувшейся в северном направлении. Голубые линии воды в заливе прерывались в зоне отмели и затем снова возникали, заполняя главную часть озера.

Специалисты, работающие с графическими программами, часто размышляли над так называемой проблемой скрытой линии. Каким образом программа должна изображать трехмерное непрозрачное тело, чтобы видна была только та грань, которая находится ближе к наблюдателю? Некоторые методы, применимые к этой задаче, требуют решения трудоемких уравнений, на что уходит слишком много времени. FLIGHT SIMULATOR едва ли может себе это позволить. Решение Артвика, применимое лишь к простым ландшафтам, заключается в том, чтобы при изображении объекта ближайшая к наблюдателю грань заштриховывалась последней. Части объекта, которые должны оставаться невидимыми для наблюдателя, просто затираются теми, которые должны быть видны. Представление двух башен Международного торгового центра в Нью-Йорке дает нам хороший пример применения этого грубого, но эффективного метода. При любом угле зрения ближайшие части здания закрывают более далекие и ближняя башня «затмевает» дальнюю.

После того как я узнал, что Чикаго необитаем, я решил вернуться на Мейгс-Филд. Владелец самолета, наверное, уже беспокоится. И все же я хотел еще многому научиться. Во-первых, мне было как-то не по себе оттого, что я не знал назначения нескольких рычагов управления. Во-вторых, я так и не попытался выяснить какую-нибудь фигуру высшего пилотажа. Для этой цели я вылетел в зону озера Мичиган.

Моим излюбленным средством управления были элероны. При нажатии на клавишу левого элерона самолет делает крен влево: горизонт передо мной наклонился вправо, и весь



Три оси, вокруг которых может поворачивать самолет

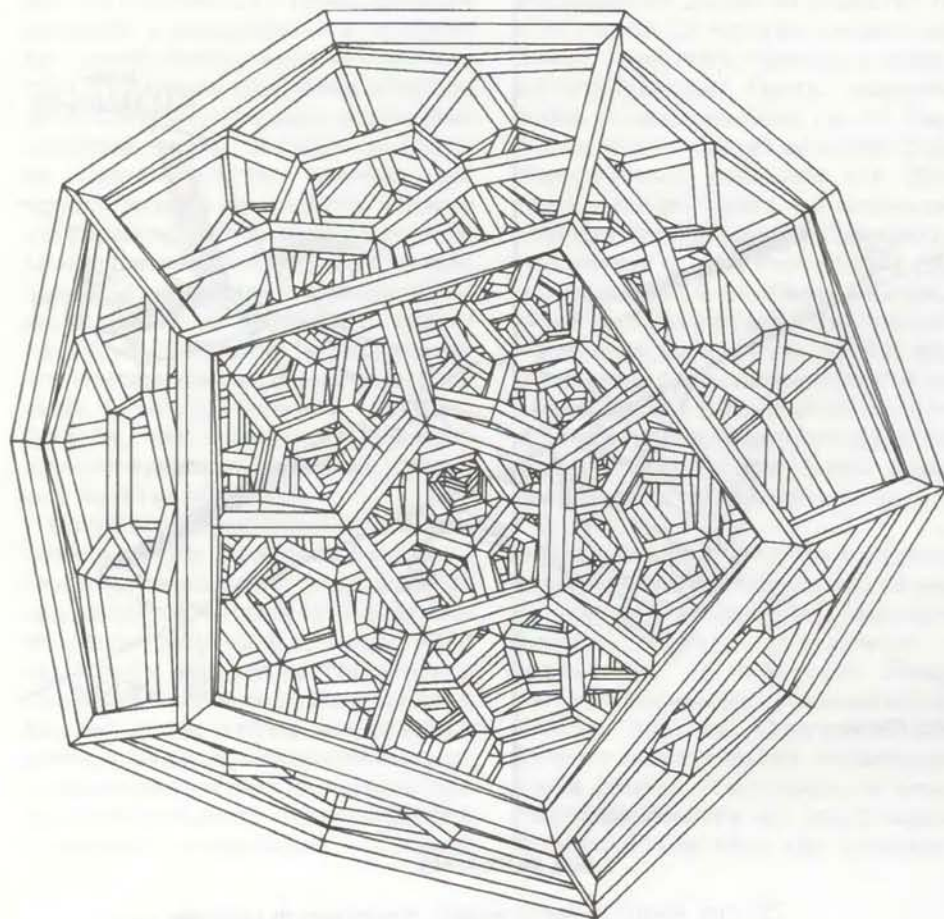
ландшафт, казалось, начал сползать по склону. Не противореча законам аэродинамики, нос «Чесны» все это время поворачивал влево. Вернув крыло в горизонтальное положение и продолжая полет по прямой, я нажал несколько раз на клавишу 8 и почти физически почувствовал, как нос самолета нырнул вниз. За окном моей кабины горизонт резко поднялся вверх. Самолет пикировал. Спидометр показывал скорость, превышающую 150 миль/ч. Я попытался воспользоваться горизонтальным рулем. Клавиша со знаком «плюс» слегка повернула руль вправо, и самолет начал вращаться, вызывая неприятные ощущения. Вернув руль в нейтральное положение, я стал наблюдать, как простирающийся подо мной ландшафт обманчиво медленно надвигается на меня. Настало время приступить к выполнению фигуры.

Пилоты входят в петли значительно реже, чем программисты в циклы. Интуиция подсказывала, что для маневра понадобится довольно большая скорость. Сначала вниз, затем вверх и потом вниз головой. Нажимать клавиши мне нравилось меньше, чем твердо поворачивать на себя ручку управления, но я тем не менее старательно нажимал на клавишу 2. Самолет с ревом вышел из пике в горизонтальный полет, а затем устремил-

ся вверх в голубую твердь небес. Я увидел, как линия горизонта ушла подо мной вниз, и стал ждать. У меня не было никакой уверенности в том, что фигура удалась. Все замерло в тишине. Может быть, самолет зависнет и рухнет на землю? Приборы не могли мне ничего подсказать, лишь о половине из них я имел какое-то представление, да и то смутное.

Внезапно на экране появился перевернутый ландшафт — сверху зеленая земля, а снизу голубое небо. Неужели маневр удался? Я был слишком разгорячен, чтобы ответить на свой вопрос. Полный мрачной решимости, я продолжал эксперименты. Теперь передо мной во все стороны раскинулась земля. Затем горизонт занял свое нормальное положение. Я попытался опустить нос самолета, чтобы предотвратить еще одну петлю. Горизонт покачнулся и замер на месте. Да, фигура удалась! Видимо, я принадлежу к числу тех одаренных людей, которые могут обучиться летному делу экспериментально, почти безо всякой предварительной подготовки. Впереди оказался аэродром Мейгс-Филд. Как только совершу посадку, пойду приму душ.

Главная посадочная полоса аэродрома протянулась с севера на юг. Я находился к юго-востоку от аэродрома и решил лететь на запад, а порав-



Проекция четырехмерного гипердодекаэдра Э. Бекера

нявшись с посадочной полосой, повернуть на север. Реализовать этот план мне почему-то не удалось. Никак не удавалось зайти на посадочную полосу, и, кроме того, я приближался к аэродрому на слишком большой высоте. Все это было подобно кошмару, когда за одним несчастьем приходит другое. Я резко опустил нос самолета, чтобы побыстрее снизиться, стараясь в то же время дотянуть еще несколько метров в направлении на восток. Однако посадочная полоса ушла с экрана, и к тому же я потерял горизонт. Земля стала быстро приближаться, зазвучал сигнал тревоги.

Черт побери! Я врезался в землю. Это стало очевидно, когда ветровое стекло кабины покрылось трещинами и на их фоне появилась крупная надпись «Авария». Погиб я или нет? Очень жаль, если база данных Чикаго лишится своего последнего обитателя.

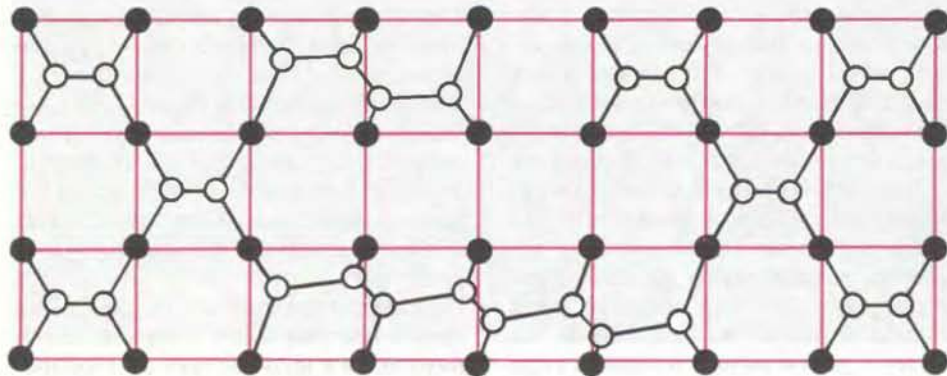
Чтобы моделировать все эти приключения, FLIGHT SIMULATOR должна постоянно делать новые вычисления вида на ландшафт из кабины самолета. Рычаги управления самолетом можно сгруппировать по направлениям вращения вокруг трех осей (см. рисунок на с. 95). Так, элероны

поворачивают самолет вокруг продольной оси, проходящей через носовую и хвостовую части самолета и называемой осью крена. Руль высоты вызывает поворот вокруг линии, параллельной крыльям, или оси тангажа (наклона). Руль направления поворачивает самолет вокруг вертикальной линии по отношению к пилоту, или оси рыскания. Если в какой-то момент положение самолета задано координатами x , y и z , то как программа определяет, где будет самолет мгновением позже?

Направление самолета и его скорость в данный момент образуют вектор, и по нему вычисляется новое положение машины. Программа определяет новое направление самолета (и, следовательно, новый угол зрения) из физических уравнений полета. На каждом цикле отображения программа задает новые начальные данные для этих уравнений, соответствующие текущему состоянию управляющих механизмов и условиям окружающей среды, таким, как давление и плотность воздуха, скорость ветра и температура. В уравнениях полета учтены физические параметры самолета, и к начальным данным уравнений применяются физические законы. Здесь работают такие силы, как вес, тяговое усилие двигателя, подъемная сила крыла и лобовое сопротивление воздуха. Учитываются также инерционные факторы, зависящие от массы и геометрической формы самолета. Решение уравнений дает новое направление полета.

Уравнения эти слишком сложны для того, чтобы микрокомпьютер мог решить их за приемлемое время, поэтому Артвик заменил их таблицами уже вычисленных значений. Одна из таблиц, например, содержит величины подъема самолета, соответствующие каждому дискретному значению угла атаки. Причем разность между двумя соседними значениями угла атаки составляет десятую долю градуса. Использование таблиц дает еще одно дополнительное преимущество: характер полета можно изменить, просто заменив таблицы, и новых формул выводить не надо.

Читатели, которых захватывают фигуры высшего пилотажа, могут воспользоваться готовой программой, имитирующей полет для любой распространенной марки домашнего компьютера. Артвик руководил созданием наиболее известной программы, распространяемой компанией Microsoft Corporation (Бельвю, шт. Вашингтон). Он сыграл также важную роль в разработке программы FLIGHT SIMULATOR II (Имитатор полета II). Обе программы могут вы-



Кратчайшее известное дерево Штейнера для массива точек 4 на 9

полняться компьютерами Apple II, IBM PC, Commodore 64 и Atari. Третья программа Артвика была создана недавно для персонального компьютера Macintosh.

После первых учебных полетов у читателей может возникнуть желание повторить захватывающие приключения, о которых повествуется в новой книге Ч. Гулика «Сорок грандиозных приключений в имитируемом полете». Каждое из описываемых в ней приключений начинается, когда читатель запускает любую из упомянутых выше программ имитации полета и вводит необходимые данные из книги Гулика. Эти данные включают в себя такие параметры, как широта, долгота, высота, положение управляющих механизмов, время дня и т. д.

Между прочим, вы можете оказаться в нескольких стах метрах от Манхэттенского моста и лететь по курсу, который приведет вас прямо под мост. Другая острая ситуация, «Мертвый номер у Сан-Клементе», заключается в том, что мотор самолета выходит из строя на высоте 5000 футов над островом Сан-Клементе у калифорнийского побережья Тихого океана. Сможете ли вы посадить самолет на планирующем полете? Третье приключение называется «Зона сумрака». Вы находитесь на травянистой взлетной полосе. Часы на приборной доске показывают три минуты первого ночи, но еще не совсем темно. Часть самолета, видимая из заднего бокового окна кабины, совершенно черная. Самолет медленно отрывается от земли, и после этого в окно уже ничего не видно. Никакой информации о ландшафте не дает и радар. Что бы вы стали делать в такой ситуации? Впрочем, лично я предпочитаю необитаемую базу данных.

«БОЙ В ПАМЯТИ» — тема моей первой статьи в этом журнале (см.: «В мире науки», 1984, № 7). Нынешним летом в последний уикенд августа на восточном побережье США Музей вычислительной техники в Бостоне провел первый международный турнир по этому виду соревнований компьютеров. Самые остроумные программы выводили из строя своих более слабых противников, уничтожая их ключевые команды. Победитель (человек, создавший победившую программу) получил звание чемпиона по бою в памяти и будет носить это звание в течение года.

Правила участия в чемпионате и требования, предъявляемые к программам, были разработаны Международной ассоциацией любителей игры «Бой в памяти», которая насчитывает около 150 членов. Возглавля-

ет ассоциацию Марк Кларксон из Вичиты (шт. Канзас).

Статья о программах, проходящих тесты на умственное развитие (см. «В мире науки», 1986, № 5), вдохновила многих читателей попробовать свои силы в мини-тесте. А некоторые написали даже свои собственные версии программы HI Q. П. Кук из Садбери (шт. Массачусетс), как и многие другие читатели, удивляется, как это удалось Марселю Феенстра, изобретателю программы HI Q, добиться результата в 160 очков. По словам самого Феенстра, эту идею подсказал ему его товарищ из Австралии К. Хардинг, набравший рекордную сумму баллов по тестам на умственное развитие. Хардинг предложил создать программу, которая могла бы подвергаться тестам, основанным на задачках по дополнению последовательностей, подобных тем, что содержатся в книге Г. Айзенка «Know Your Own I. Q». (Айзенк Г. Проверьте свои способности. — М.: Мир, 1972). В своей программе Феенстра принял систему оценки результатов, предложенную в книге Айзенка.

Статья о геометрических телах высших размерностей (см. «В мире науки» 1986, № 6) не вызвала у читателей никаких отклонений в психике. Все написавшие свою собственную версию программы HYPERCUBE сохранили душевное здоровье и физическую материальность. Правда, был выявлен поразительный случай ясновидения и предсказания будущего. Д. Эклейн из Рамни (шт. Нью-Гэмпшир) создал подобную программу за несколько месяцев до того, как я описал свою. Программа Эклейна дает все эффекты, производимые программой HYPERCUBE, но использует лишь четыре плоскости вращения вместо шести. Э. Холси из Сизгла (шт. Вашингтон) не удовлетворился «мышинной возней» с программой HYPERCUBE. Он пошел дальше, к более сложным телам высоких размерностей, включая четырехмерный усеченный многогранник, четырехмерный симплекс и другие сложные объекты.

Наконец, следует отметить работу Э. Бекера из Риверхеда (шт. Нью-Йорк), который плотную повстречался с гипердодекаэдром (см. рисунок вверху на с. 96). Обычный додекаэдр — это классическое геометрическое тело с 12 гранями. Гипердодекаэдр Бекера состоит из 120 обычных додекаэдров, построенных из 1200 линий. Фигура, изображенная на рисунке, была получена путем проектирования этого чудовищного объекта на трехмерное пространство с последующим смещением каждого из составляющих додекаэдров на небольшое

расстояние в заданном направлении. Получается так, что каждая линия одновременно принадлежит трем додекаэдрам. Бекер пишет: «Плоские поверхности ограничены ребрами в их смещенном и несмещенном положениях. Соответственно я заменил каждую линию... чем-то вроде Y-образной рейки, в результате чего более понятной становится общая структура объекта, по крайней мере для моего трехмерного пространственного воображения».

В статье Мартина Гарднера (см. «В мире науки», 1986, № 8) перед читателями была поставлена задача найти дерево Штейнера, которое связывало бы матрицу из точек 4 на 9 и было бы короче 32,095 единицы. Пока никому не удалось улучшить результат, полученный Р. Грейемом и Ф. Чанг из фирмы Bell Laboratories (см. рисунок внизу на с. 96). Длина их дерева вычисляется по формуле $7[1 + \sqrt{3}] + [((3(2 + \sqrt{3}) - 2)^2 + 1)^{1/2}/2] + [((5(2 + \sqrt{3}) - 2)^2 + 1)^{1/2}/2]$, что приблизительно равно 32,094656...

Издательство МИР предлагает:

Д. Хаузер, Дж. Хирт,
Б. Хоукинс

ОПЕРАЦИОННАЯ СИСТЕМА MS-DOS:

Популярное руководство

Перевод с английского

MS-DOS — операционная система для персональных компьютеров, под управлением которой можно использовать тысячи прикладных программ. В книге подробно обсуждаются все команды MS-DOS, их формат, параметры, ключи. Рассматриваются возможности реконфигурации системы, стандартные средства отладки, редактирования, загрузки и печати. Кратко описаны утилиты MS-DOS.

Для пользователей ПК и студентов вузов.

1987, 14 л. Цена 1 р. 20 к.



Книги

Седьмой континент;
молекулярная биология
и заболевания человека;
все о зеркалах

ФИЛИП MORRISON

Дебора Шэпли. СЕДЬМОЙ КОНТИНЕНТ: АНТАРКТИКА В ВЕК РЕСУРСОВ
THE SEVENTH CONTINENT: ANTARCTICA IN A RESOURCE AGE, by Deborah Shapley. Resources for the Future, Inc. Distributed by the Johns Hopkins University Press (\$ 35)

НА ОТТИСКЕ с рисунка, сюжетом которому послужило предание, мы видим Ф.Ф. Беллинсгаузена, прославленного капитана русского императорского флота, сидящего в окружении своих офицеров, увешанных регалиями, и внимательно кого-то слушающего. Два величественных шлюпа, принадлежащих его экспедиции, покачиваются в тумане на якоре у покрытых льдом берегов Южных Шетлендских островов. Между фрегатами изображено небольшое судно размером с баркас военного корабля. Капитана этого судна с командой из 5 человек, двадцатилетнего безбородого янки Натаниеля Палмера, и слушает Беллинсгаузен.

В 1819—1821 гг. Беллинсгаузен возглавлял кругосветную экспедицию, имевшую целью максимальное проникновение к южной приполярной зоне и открытие неизвестных земель. Американский капитан также был исследователем, однако перед ним стояли более скромные задачи: по поручению охотников Стоунингтона он занимался поиском новых лежбищ ценных морских котиков. Говорят, что капитан Палмер якобы рассказал Беллинсгаузену, что в 1820 г. в начале сезона он увидел и нанес на карту длинный береговой участок континента всего в 50 милях к югу от острова, у которого они оба бросили якорь*.

* Открытие Антарктиды как ледяного континента принадлежит кругосветной военно-морской экспедиции под руководством Ф.Ф. Беллинсгаузена и М.П. Лазарева на шлюпах «Восток» и «Мирный». В январе-феврале 1820 г. русские корабли 4 раза на близкое расстояние подходили к шельфовому леднику Земли Королевы Мод. Русская экспедиция открыла о. Петра I, Землю Александра I и несколько островов в Южно-Шетлендском архипелаге (см. БСЭ, 3-е изд. т. 2).

Со времен кругосветного плавания Кука географы вынуждены были признать справедливость вывода, к которому он пришел первым: к югу от царства ледяных торосов в суровых водах омывающих его морей лежит похожий на гигантский остров ледяной континент. Начиная примерно с 1820 г. американские, английские и норвежские охотники за тюленями продвинулись далеко к югу вдоль побережья Южной Америки. Далее их путь лежал к прибрежным островам Антарктики, также изобиловавшим тюленями. Так и осталось неизвестным, кто из капитанов, пробившись сквозь льды и туманы, первым достиг ближайшего мыса неизвестного тогда материка. Англичане, претендующие на открытие Антарктиды, ссылаются обычно на отметку в судовом журнале капитана из Нантукета, зарегистрировавшего высадку на материк в 1821 г., действительно имевшую место. Многие исследователи все же считают открывателем Антарктиды Беллинсгаузена.

В рецензируемой книге рассказывается о почти двухсотлетней истории открытия и освоения Антарктики. Автор книги — журналистка, прекрасно разбирающаяся в вопросах современной науки. Перед читателем разворачивается пестрое полотно деяний, побуждаемых национальной гордостью и соперничеством, страстью к наживе и устремлениями военного и мирного характера и проникнутых духом отваги, приключений и открытий.

Далеким седьмым континентом не похож на все остальные. Хотя он занимает 1/5 часть всей материковой суши планеты (земля там в основном скрыта под толщей льда), число живущих в Антарктике людей в летнее время достигает максимум 2 тыс. человек, существенно уменьшаясь во время полярной ночи. Лишь единицы из живущих на Земле людей могут похвастаться тем, что они родились на самом южном из континентов, а большая часть тех, кто нашел свой конец среди его ледяных просторов, были

участниками единственного за всю историю туристского полета, окончившегося трагически: самолет разбился о вулкан Эребус в 1979 г.

Необычная земля Антарктика имеет и особый правовой режим, определяемый Договором об Антарктике. Этот договор был выработан и одобрен 1 декабря 1959 г. на конференции, созванной в Вашингтоне, в которой приняли участие представители 10 стран.

Договор обязывает подписавшие его стороны соблюдать рациональный порядок, определенный искренними намерениями в духе эпохи Просвещения, когда народам и государствам было еще неизвестно, что несет с собой развитие техники. Согласно Договору, Антарктика может быть использована только в мирных целях. Строительство военных баз, равно как и испытание любого вида оружия запрещены, применение военной техники разрешается также только в мирных целях. Запрещается производить атомные взрывы и захоронение радиоактивных отходов. Все исследования, проводимые в Антарктике, должны быть открытыми, а их результаты доступны всем. Страны-участницы Договора об Антарктике должны заранее предупреждать о проведении экспедиций и открытии новых станций, а также об использовании военного персонала и оборудования. Предусмотрено право инспекции с воздуха в любой момент и в любом месте, а также свободного доступа на станции специально назначаемых наблюдателей. Все конфликты по возможности должны быть урегулированы на месте, в противном случае вмешивается Международный суд.

В 1991 г. Договор об Антарктике, как сказано в его условиях, будет пересмотрен странами-участницами. Первоначально этих стран было 10, позже еще 4 страны внесли вступительные взносы «на широкие научные исследования» в Антарктике. Следует отметить, что в число участников Договора входят 4 страны из Большой пятетки (Великобритания, СССР, США и Франция). Пятая страна — КНР — также выразила готовность присоединиться к ним и в настоящее время несколько китайских ученых работают в Антарктике в качестве гостей полярных научных станций. Пять самых южных стран, ближе всего расположенных к ледовому континенту, имеют в этом регионе свои интересы и даже территориальные притязания. Следует отметить еще пять стран, в прошлом посылавших своих знаменитых исследователей в Антарктику: Бельгию, Японию, Норве-

гию, Польшу и ФРГ, а также две страны, впервые проводящие исследования в столь суровых условиях, — Индию и Бразилию.

В Договоре об Антарктике содержится пункт по поводу урегулирования старых исторических споров. Все территориальные претензии рассматриваются путем дипломатических переговоров. Естественно, что Договор не исключает возможности возникновения различных проблем, таких как нарушение его условий или разногласия по поводу права добычи полезных ископаемых. . . Однако на практике Договор обеспечивает столь эффективный политический баланс, что ни одна из сторон пока не отважилась нарушить его условия. Вспомним, что даже фолклендский конфликт между двумя странами — участницами Договора не отразился на соблюдении ими договорных обязательств.

Антарктика обладает двумя видами крупных потенциальных ресурсов. На протяжении XX в. в ее водах было добыто около миллиона китов. В наши дни китов там почти не осталось. Зато их основная пища — криль — размножилась в огромном количестве. Эти похожие на креветки мелкие морские животные, скопления которых окрашивают холодную зеленоватую воду в красновато-коричневый цвет, служат пищей китам, тюленям, головоногим моллюскам и морским птицам. Добыча криля возросла в наше время до полумиллиона тонн в год — улов по объему биомассы эквивалентный 10 тыс. китов. Не исключено, что когда-нибудь белковые продукты, получаемые из криля, станут основной пищей в голодающих районах мира; в этом случае добыча криля возрастет более чем в 10 раз.

Поскольку Договор об Антарктике, нацеленный в основном на регулирование научных исследований, не был рассчитан на широкую экономическую программу, связанную с освоением ресурсов, возникла необходимость разработать новый документ — «Конвенцию об охране морской флоры и фауны Антарктики», которая вступила в силу в 1982 г. Юридически она связана с основным Договором. Это новое соглашение предусматривает возможность присутствия в Антарктике стран, не участвовавших в первом договоре. Специально созданная комиссия в Хобарте (Тасмания) следит за разумным использованием морских ресурсов, а входящие в нее ученые изучают уникальную экосистему антарктических вод.

Вторым потенциальным ресурсом, которым вряд ли широко воспользуются в этом столетии, являются полезные ископаемые, как скрытые по-

до льдом, так и находящиеся на поверхности. Первый же корабль, оборудованный установкой для глубокого бурения, обнаружил следы углеводородов под морем Росса, и сейчас несколько стран ведут геофизические исследования в этом районе.

Бурение твердых пород на суше еще впереди, хотя геологи поговаривают о новом Ранде, скрытом где-то подо льдами. Естественно, что экономические соображения сыграют в этих исследованиях решающую роль, хотя уже сейчас ясно, что прибыль с затраченных капиталовложений будет получена лишь следующими поколениями.

Не исключено, что самым ценным, с точки зрения геофизики, будет «отрицательный ресурс» или «антиресурс»: имеется в виду то влияние, которое антарктический лед оказывает на погоду и на уровень воды в Мировом океане в процессе климатических изменений. Возможно, что «решение этого уравнения» может означать для человечества больше, чем запасы криля, нефти и алмазов. Внимательное наблюдение за всеми изменениями и, что еще важнее, новый подход к изучению причин и протеканию этих процессов скорее всего и будет самым ценным из всего того, что осуществляет человек на ледяном континенте.

Следует сказать, что накануне Первой мировой войны американцев не было среди тех, кто осваивал Антарктиду. Их время пришло позже, когда в 1929 г. Роберт Бэрд пролетел на своем трехмоторном самолете над Южным полюсом. Его энергия и обаяние заставили многих в США вновь заговорить об Антарктиде. Многие, конечно, слышали о его полярной базе под названием «Маленькая Америка» и читали о бойскаутах, мечтающих стать полярными исследователями, о горе-связистах, неуклюжих смешных пингвинах и миллионерах, финансировавших экспедиции. И за всеми этими увлекательными историями стоят дипломатические и стратегические планы (не столь явные до начала Второй мировой войны, но более очевидные после ее окончания) утвердить за США право на большую часть территории или по крайней мере ограничить притязания их соперников.

Договор об Антарктике не был результатом длительных дипломатических переговоров. Интересно, что идея договора родилась на званом обеде, который известный американский физик Ван Аллен дал в 1950 г. в Сильвер-Спринге (шт. Мэриленд) в честь ученых коллег. Было решено третий Полярный год (1957) посвятить в основном изучению Южно-

го полюса, где новые научные методы обещали дать весьма интересные, с точки зрения геофизики, результаты. Этот проект послужил стимулом к подготовке Международного геофизического года (МГГ) в атмосфере тесного сотрудничества между учеными разных стран в противовес злобнейшей разобщенности эпохи холодной войны.

МГГ имел огромный успех во всем мире. Хотя большинство его организаторов и не подозревало об этом, проведение МГГ вполне отвечало секретным планам Совета национальной безопасности США по укреплению их позиций на ледовом континенте. Научная программа показалась президенту Эйзенхауэру весьма обнадеживающей и более дешевой альтернативой дорогостоящей и рискованной деятельности дипломатов и военных. Вот почему проект МГГ получил от правительства США большую поддержку, в том числе отличное материально-техническое обеспечение и, по мнению американских официальных кругов, затраты эти вполне оправдались.

С началом Международного геофизического года инженерно-строительные части американских ВМС приступили к сооружению полярной станции как раз вокруг столба, отмечающего точку Южного полюса. Красные строения этой постоянно действующей станции, обслуживаемой исключительно военными самолетами, находятся в символическом сердце полярных льдов. Однако политика США, равно как и остальных стран — участниц Договора об Антарктике, сдвинулась в направлении «кооперирования национальных элементов, подчиненных международному сотрудничеству во имя интересов науки». По всей видимости, в ближайшем будущем мы станем свидетелями возросшего значения прикладных наук, расширения экологических исследований на море и на суше и геофизических исследований Антарктики в рамках того же Договора.

В заключение скажем, что когда в 1957 г. США приступили к сооружению своей станции на Южном полюсе, не было полной уверенности, что снег выдержит тяжесть самолета, садящегося на лыжи. Единственным аргументом, которым располагали энтузиасты ее строительства, была старая фотография, некогда сделанная сорокапятилетним фотографом экспедиции Скотта. На ней видно, до какого уровня утопали в снегу ноги людей, достигших полюса. Вряд ли сам фотограф подозревал о том, какую службу сослужит людям его фотография.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ И ЗАБОЛЕВАНИЯ ЧЕЛОВЕКА. Под редакцией А. Мак-Леода и К. Сикоры MOLECULAR BIOLOGY AND HUMAN DISEASE, edited by Alexander Mac-Leod and Karol Sicora. Blackwell Scientific Publications (paperbound, \$ 17)

В ЭТОЙ КНИГЕ, предназначенной для студентов и практикующих врачей, объединены статьи молекулярных биологов и врачей из лабораторий и клиник Совета медицинских исследований в Кембридже (Великобритания), а также ряда специалистов из Лондона, Эдинбурга и Балтимора; в целом она дает хорошее представление о состоянии дел в изучении молекулярных подходов к исследованию болезней человека. Материал изложен лаконично, но полно; текст свидетельствует о высокой квалификации авторов. А вот в отношении иллюстраций издание не отличается высоким уровнем, уступая, скажем, журналу «Scientific American». Правда, в книге есть ценные иллюстрации, но их немного.

Первые несколько статей посвящены новым методам «чтения» и «редактирования» генетических текстов, включая исправление «грамматических» ошибок. Прежде всего решается задача размножения отдельных генов. Отдельный ген — все равно что раритет, в геноме он составляет миллионную долю. «Тираж» его «издания» должен быть достаточным, чтобы обеспечить изучение гена. Для этого используют клонирование. Конечно, в основе такого «издательского процесса» лежат биологические явления: отбор «текстов», т. е. ДНК, осуществляется с помощью ферментов, клетки размножают, находят в них искомые фрагменты ДНК с помощью комплементарных последовательностей нуклеотидов, полученных на базе естественных матриц. Затем возникает задача прочесть текст. Ее решают «побуквенно» — путем секвенирования ДНК, т. е. определения ее последовательности, что до сих пор остается нелегким делом; величайшим достижением здесь в настоящее время является прочтение полной последовательности генома вируса Эпштейн-Барра, состоящего из 250 тыс. пар нуклеотидов. Задачу секвенирования облегчают методы гибридизации, объединяющие в себе простейшее разделение участков ДНК на основе электродиффузии и выявление искомого фрагмента при помощи специфических маркеров.

В одной из глав обобщены данные об удивительных процессах, происходящих при реализации информации, содержащейся в генах, — при синтезе

белков; другая представляет собой обзор данных о цитоскелете — сложной организованной динамической сети, образованной белковыми волокнами трех типов, которая служит каркасом, обеспечивающим клетке нужную форму, необходимую для ее нормальной жизнедеятельности и движения. Яркое проявление функционирования цитоскелета можно наблюдать во время митоза (деления клетки), когда хромосомы совершают поистине балетные па. (Как ни странно, в этой главе нет ни одной иллюстрации.)

Хорошо описан метод выявления специфических молекул с помощью моноклональных антител. Клетки иммунной системы, называемые В-лимфоцитами, способны синтезировать антитела, причем каждая линия В-клеток специализируется на производстве определенных антител. В-лимфоциты сливаются с опухолевыми клетками, которым свойственна способность размножаться неограниченно. Получаемые гибридные клетки синтезируют антитела нужного типа и в то же время «бессмертны», что существенно увеличивает продукцию антител.

Физики также внесли весомый вклад в арсенал биологических методов. Мы имеем в виду метод проточной цитометрии. Клетки быстро (со скоростью несколько тысяч штук в секунду) перемещаются по стеклянному капилляру и их подсчет обеспечивается лазерным лучом, сфокусированным на потоке клеток. При этом, не теряя в скорости, можно получить более глубокую характеристику изучаемых клеток, если предварительно пометить их специфическими флуоресцирующими красителями. Многие лаборатории в настоящее время широко пользуются компьютерами с дисплеями и оптическими сортирующими устройствами, оценивающими интенсивность сигнала. Даже если в клетках содержится не более чем по 50—100 специфических молекул, в таком приборе за несколько минут можно проанализировать миллионы клеток. Например, клетки сортируют по соотношению пар оснований в хромосомной ДНК; для этого окрашивают ДНК двумя разными красителями, специфическими к определенным нуклеотидам, и освещают препарат двумя лазерами, возбуждающими световые импульсы в разных участках спектра. Такой анализ уже проделан применительно к половине хромосом человека.

Чем же могут быть полезны эти методы для медицины? Примерно половина книги посвящена рассмотрению нескольких групп молекуляр-

ных подходов к диагностике и лечению наследственных заболеваний. Все они в той или иной степени применимы в клинической практике. Лучше других изучены молекулярные нарушения гемоглобина, а также генетические дефекты, приводящие к патологическим состояниям, называемым талассемиями, которые весьма различны по своим клиническим проявлениям (от хронического бессимптомного течения, не угрожающего жизни больного, до острых форм, вызывающих преждевременную гибель в эмбриональный период развития). Фенотипическое разнообразие этих нарушений связано с несколькими различными мутациями в определенном кластере генов. В частности, мутация, вызывающая отсутствие одной полипептидной цепи глобина, в норме представляющего собой тетрамерную молекулу, является одной из основных причин высокой смертности эмбрионов во время родов, наблюдающейся в Юго-Восточной Азии. При этой мутации функционально активны лишь 20% молекул гемоглобина, и удивительно, как в таком случае плод вообще может дожить до конца беременности. Для борьбы с подобными заболеваниями широко применяется дородовая диагностика: клетки плода проверяют на присутствие дефектных последовательностей ДНК.

В одной из глав дается характеристика онкогенов, играющих роковую роль на первых этапах канцерогенеза. Обсуждаются потенциальные возможности методов лечения, которые будут разработаны в результате интенсивного изучения онкогенов. По мнению авторов, решительный успех следует ожидать не ранее чем через 20 лет.

Известны также молекулярные нарушения мышечной ткани вследствие изменения митохондрий или специфических рецепторов в местах контакта мышц с нервами. Появилась надежда контролировать в некоторых случаях процессы репарации ДНК; не исключено, что станет возможным восстанавливать гены даже после их повреждения ионизирующей радиацией.

Две короткие статьи посвящены генетическим подходам к изучению ДНК не человека, а иных видов. Некоторые из этих подходов важны и могут быть применены в медицинских целях. В одной статье описываются попытки создать особый сорт пшеницы, безопасный для тех людей, которые не переносят определенный белок клейковины. В другой обсуждаются особенности производства ряда сложных веществ, представляющих интерес для медицины, методами биотехнологии: путем пересадки со-

ответствующих генов и последующей их экспрессии в тех или иных микроорганизмах. Эта статья несколько напоминает страницы газет, отведенные биржевым новостям: предприниматели уже давно стремятся использовать возможности методов генетической инженерии в фармацевтике. В качестве примера можно упомянуть хотя бы синтез инсулина. Единственным практически доступным в настоящее время источником гормонов являются ткани животных — свиней и крупного рогатого скота. Но на свиной инсулин у некоторых больных наблюдается неприятная иммунная реакция. Избежать ее позволил бы синтетический инсулин, полностью идентичный гормону человека. Впрочем, в данном случае генетическая инженерия — не единственный путь. Инсулин свиньи отличается от инсулина человека лишь одной аминокислотой (а именно 30-й аминокислотой в В-цепи), и поэтому проще и экономичнее удалить это единственное звено из гормона свиньи, чем вводить человеческий ген в бактерии и получать из них белок.

Экспериментальные подходы и лечение наследственных заболеваний обсуждаются в книге параллельно, что производит глубокое впечатление на читателя, так как создается представление о молекулярной биологии на примере медицины. Вместе с авторами мы приходим к выводу о том, что многое можно предусмотреть еще до рождения ребенка. Известно, что носителями некоторых потенциально летальных наследственных заболеваний системы кроветворения являются всего несколько процентов людей. В данном случае единственный способ борьбы с болезнью — искусственное прекращение беременности со всеми вытекающими социальными и этическими последствиями. Возможно манипулирование генами эмбрионов и *in vitro*, но это тоже отягощено серьезными этическими проблемами. Без сомнения, технически самой сложной задачей является генетическая терапия взрослых. Как, например, заменять пораженные ткани? Кое-какие реальные надежды есть в отношении некоторых болезней крови. Возможно удалять костный мозг и замещать его другим, подвергнутым специальной обработке, избавляясь таким способом от дефектных стволовых клеток. Для успешной генетической регуляции *in vivo* необходимо овладеть управлением многими сложными генетическими механизмами переключения в процессах синтеза белков.

Чтение этой полезной, но трудной книги оставляет чувство восхищения

перед изобретательностью исследователей. В то же время возникает подозрение, что крупнейшие достижения биомолекулярной инженерии свершились давным-давно и присутствуют вокруг нас, воплотившись в симбиотических организмах, именуемых нами домашними животными и культурными растениями, которые явились материальной основой человеческой цивилизации в последние 10 тыс. лет.

Бенджамин Голдберг. ЗЕРКАЛО И ЧЕЛОВЕК

THE MIRROR AND MAN, by Benjamin Goldberg. University Press of Virginia (\$ 20)

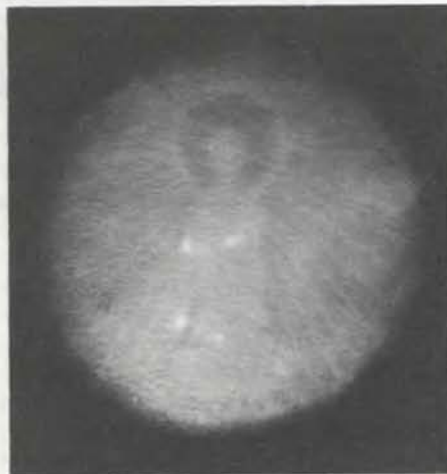
ЭТО БЫЛ настоящий скандал! Все началось с того, что десятиречных иностранных мастеров прельстили щедрыми обещаниями, а затем тайно переправили во Францию. Вскоре они стали получать письма от своих жен, умоляющих их вернуться домой, однако письма эти оказались поддельными. Королю Франции лично пришлось навестить мастеров и успокаивать их комплиментами и подарками. Затем некоторые из жен получили возможность воссоединиться со своими мужьями. Страсти продолжали накаляться. Фабрика, где работали покинувшие родину мастера, подверглась нападению вооруженных людей; лишь с помощью отряда солдат порядок удалось восстановить. Позже двое лучших мастеров даже были отравлены.

Такова история одного технологического секрета: речь идет не о новом виде оружия, а о технике изготовления стеклянных зеркал. Изобретенная и освоенная в Венеции, она была «похищена» для «короля-солнца» предприимчивым французом Жаном

Кольбером. Следует сказать, что качество изготавливавшихся в то время зеркал ненамного уступает современным. Венецианские мастера могли изготовить зеркало любого размера, если в их распоряжении имелось соответствующее листовое стекло высшего качества, способ получения которого был изобретен в Венеции двумя столетиями раньше. Позже одну из поверхностей стекла стали покрывать ртутно-оловянной амальгамой, которая наносилась при комнатной температуре, образуя ровную великолепно отражающую поверхность. Обычные зеркала хорошего качества в наше время изготавливают подобным же образом, хотя использование алюминия, напыляемого в вакууме, положило конец более чем четырехсотлетней «монополии» амальгамы.

Французы быстро освоили новое дело: через 5 лет венецианские мастера со щедрыми дарами вернулись в свою республику, которая их простила, так как нуждалась в их искусных руках. К тому времени зеркальная мастерская в Париже уже могла справиться с постоянно растущими заказами, о которых можно получить представление, посетив бесконечные зеркальные галереи Версаля. За 20 лет французские мастера усовершенствовали процесс изготовления зеркал из витринного стекла, которое они научились получать отливкой, а не из выдуваемых цилиндров. Компания Saint-Gobain, лидер на мировом рынке стекла, — переехала из Парижа в маленький старинный городок, от которого она и получила свое название.

Все эти факты, относящиеся к истории зеркального дела, взяты из интереснейшей главы, которая как бы делит на две части рецензируемую книгу, написанную физиком — специалистом по оптике. Последняя треть книги, снабженная множеством диа-

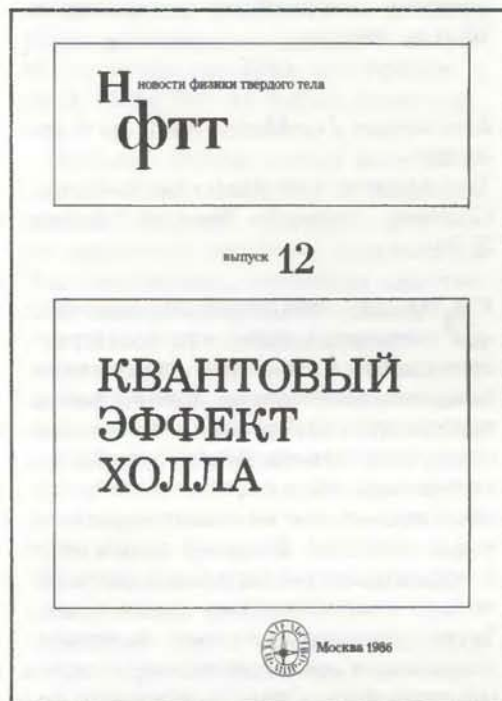


Зеркальная проекция изображения Будды (слева) и рентгеновское изображение зеркала, обнаруживающее скрытый рельеф (справа).

КВАНТОВЫЙ ЭФФЕКТ ХОЛЛА СБ. СТАТЕЙ 1980—1984 ГГ.

Серия «Новости физики твердого тела»

Перевод с английского



Неугасающий интерес ученых всего мира к проблеме квантового эффекта Холла обусловлен тем, что это явление, которому пока еще не найдено адекватного теоретического объяснения, обнаруживает новые интересные особенности (например, дробное квантование), трактовка которых затрагивает фундаментальные проблемы современной квантовой физики. Интересно отметить, что квантовый эффект Холла уже нашел важное практическое применение — для создания эталона единицы электрического сопротивления и для измерения постоянной тонкой структуры с точностью, превышающей точность ее вычисления методами квантовой элек-

тродинамики. В сборник включено около 30 статей. Это статьи по экспериментальному исследованию квантового эффекта Холла, а также обзорные статьи по проблеме в целом и ряд наиболее важных работ по теории явления. Лишь одна основополагающая статья фон Клитцинга, Дорды и Пеппера относится к 1980 г., все остальные опубликованы в 1981—1984 гг. Аналогичных изданий на русском языке пока не имеется.

Для физиков-экспериментаторов, занимающихся явлениями переноса в твердом теле, для теоретиков, интересующихся проблемами квантовой физики, а также для студентов и аспирантов.

1986. Цена 2 р. 30 к.



грамм и цифр повествует о зеркалах, «обращенных вовне» и находящихся на службе у современной науки и техники. Имеются в виду зеркала для телескопов, прожекторов, маяков, лазерных установок и т. д.

Предмет, которому посвящена книга, известен человеку с незапамятных времен и представляет для него большую ценность. Автор излагает длительную историю зеркала, «обращенного внутрь», того самого, в котором мы видим наше собственное отражение, зримый ответ нашей души. Он начинает свой рассказ с мифа о Нарциссе и далее повествует о зеркалах в Древнем Египте, Индии, Китае, Японии и доколумбовой Америке. Обращаясь к Европе, автор рассказывает не только о зеркалах эпохи Возрождения, о знаменитой теории перспективы, разработанной Альберти, Брунелески и Леонардо да Винчи, но и углубляется в древность. Имеется в книге и рассуждение о зеркалах, служивших инструментом голландским живописцам и встречающихся на их полотнах; говорится в ней и о «зеркальных» залах для богатых клиентов Томаса Чиппендейла и Роберта Адамса.

До наших дней сохранилось 2 тыс. бронзовых этрусских ручных зеркал, изготовленных 2,5 тыс. лет назад. Греки также широко пользовались зеркалами, немногие из которых сохранились. Этрусские украшали обратную сторону своих зеркал гравюрами с изображением сцен из греческой мифологии; любимым их героем был Гераклес. Этими зеркалами чаще всего пользовался прекрасный пол и обычно их находят в могилах, где похоронены женщины. Самое старое стеклянное зеркало в Европе относится к эпохе Римской империи и изготовлено явно по египетскому образцу. Оно более темное и сильнее искажает изображение предметов, чем великолепные зеркала из светлой бронзы эпохи позднего Рима. Стеклянные зеркала в то время выходят из употребления в Европе и появляются вновь лишь в XIII в.

Китайские зеркала, отливавшиеся из бронзы, совершенствовались в течение 20 веков (начиная с династии Шан и кончая династией Тан). Их обратная сторона — это также своеобразное зеркало, «отражающее» в художественной форме как космологические, так и земные представления древних китайцев. Автор цитирует грустные строки из стихотворения Ли Бо, в котором говорится о женщине, вновь и вновь протирательной своим красным рукавом «яркую луну [..освещающую весь мир своим великоле-

пием]. В центре ее — мое отражение. . .» Эта луна — зеркало, которое ей подарил давно покинувший ее любимый муж, по долгу службы отправившийся на одну из отдаленных границ империи. В книге приводится краткое объяснение того, каким образом с помощью «волшебных» вогнутых зеркал изображение рельефа на задней стороне зеркала проецируется на стену. Одна из фотографий передает этот эффект, как его видят посетители Шанхайского музея.

В Японии к зеркалам относились с благоговением; самые старые из известных в этой стране зеркал хранятся в Исе как священные атрибуты самой богини солнца (в синтоизме). Три главных мастера по изготовлению зеркал — художник, придумывавший форму зеркала, литейщик и полировщик — вплоть до прошлого столетия официально числились при дворе императора. На иллюстрации мы видим одну из работ этих мастеров — «волшебное» зеркало, отражающее изображение Будды. С распространением в стране техники изготовления стеклянных зеркал эти мастера вынуждены были заняться другим ремеслом.

Около 50 лет назад среди остатков ольмекской культуры в Мексике были обнаружены мозаичные зеркала, составленные из полированных кусочков окислов железа и железного колчедана. Вогнутые и прекрасно отполированные, они хорошо сохранились. С их помощью невозможно было добыть огонь даже от тропического солнца, поскольку они имели слишком малый размер, однако эти зеркала могли заставить дымиться сухой трут. Не они ли послужили поводом для возникновения легенды о «курящих» зеркалах, столь распространенной в Центральной Америке?

Посетители Британского музея и сейчас могут видеть черное зеркало под названием «Шоу-стоун», которое его владелец ученый-маг д-р Джон Ди использовал в качестве «магического кристалла для общения с потусторонним миром». Он оставил запись, датированную 1575 г. и гласящую о том, что его повелительница королева Елизавета «приказала ему принести знаменитое зеркало». Кристалл доктора Ди — это отполированное обсидиановое зеркало, несомненно привезенное из Нового Света в Европу в эпоху завоевания Мексики, жители которой — астеки — считались великими магами и волшебниками. Но если железосодержащие материалы сравнительно легко поддаются обработке и полировке с помощью песка и красного полировального порошка, то обсидиан требует гораздо больших усилий и умения.

Самое древнее из всех найденных археологами зеркал изготовлено из селенита — кристаллического гипса — и хранит следы некогда существовавшего деревянного обрамления. Оно обнаружено в древних захоронениях Эль-Бадари (центральная часть Египта) и датируется приблизительно 4500 г. до н. э. А еще раньше человек любовался своим отражением в воде (в собственных ладонях, в сосуде или в реке). В последней главе Голдберг возвращается к вопросу о зеркальном изображении, рассказывает о последних работах психологов и приводит высказывания художников и писателей, начиная от Льюиса Кэрролла и кончая Робертом Коулзом.

Следует сказать, что автор полностью исчерпал тему, если не считать, пожалуй, вопроса о реакции животных на собственное изображение в зеркале. К достоинствам этого elegantного компактного издания можно отнести также и то, что каждая глава снабжена подробнейшими комментариями и ссылками.

Издательство МИР предлагает:

С. Уилсон
ЭЛЕКТРОННЫЕ
КОРРЕЛЯЦИИ
В МОЛЕКУЛАХ

Перевод с английского

В книге излагаются современные методы теоретической химии, которые используются при уточненных расчетах энергии молекул. Вычисление корреляционных поправок («корреляционных эффектов») к энергии молекул имеет большое значение при теоретическом рассмотрении механизмов химических реакций, оптических свойств молекул и процессов рассеяния электронов молекулами.

Для физико-химиков — специалистов в области строения молекул и кинетики химических реакций.

1987, 17 л. Цена 2 руб. 90 к.



Наука и общество

Преодолевая кризис

НЕ СЕКРЕТ, что программа космических исследований США переживает трудное время. Четыре аварии — взрыв осенью прошлого года ракеты «Титан», которая должна была вывести на орбиту спутник министерства обороны США, гибель в январе этого года корабля многоразового использования «Челленджер» с семью астронавтами на борту, взрыв в апреле другой ракеты «Титан» (приведший к повреждению стартовой площадки) и неудачная попытка запуска в мае ракеты «Дельта» с метеорологическим спутником — значительно ограничили, по крайней мере временно, возможности США запускать спутники. Сложившейся кризисной ситуацией продиктована необходимость пересмотра национальной

стратегии в области исследования космического пространства. В ходе этого пересмотра обнаружены недостатки, которые в конечном итоге могут иметь еще более серьезные последствия, чем нехватка на сегодняшний день ракет-носителей.

Каковы оценки сложившейся ситуации? Как заявил А. Уилон — вице-президент компании Hughes Aircraft, входящий в состав комиссии по расследованию причин гибели «Челленджера» и являющийся членом консультативного совета разведывательной службы при президенте США, — «размеры катастрофы беспрецедентны. . . По существу мы лишены возможности продолжать нашу деятельность». Полеты шаттлов возобновятся самое раннее через год-полтора. Запуски ракет «Дельта» и «Титан» отложены до тех пор, пока

не будут выявлены причины недавних аварий. Кроме того, взрыв в апреле ракеты «Титан» причинил значительные повреждения единственной действующей стартовой площадке на ванденбургской базе ВВС. На континентальной территории США эта база единственная, откуда можно легко запускать спутники на полярную орбиту. Поскольку большинство разведывательных и военных метеорологических спутников работают на полярной орбите и «Титаны» являются единственными в США ракетами, способными выводить на орбиту самые большие спутники, запуски этих ракет отложены до тех пор, пока не будет восстановлена стартовая площадка. На это может потребоваться целый год.

К другому полезному грузу, на планы запуска которого повлияла недавняя серия аварий, относятся спутники связи, предназначенные для Индии, Индонезии, министерства обороны Великобритании, компаний Hughes Aircraft и RCA; несколько аппаратов для научных исследований, включая планетные зонды «Галилей» и «Улисс» (запуск которых возможен только в ограниченные «окна» времени), и космический телескоп; различные системы для министерства обороны США и несколько метеорологических спутников. Запуск этих спутников имеет особое значение, поскольку в результате выхода из строя в 1984 г. метеорологического спутника GOES—5 и повреждения спутника GOES—7 при попытке запуска ракеты-носителя «Дельта», у Национального управления по исследованию океанов и атмосферы остался всего один спутник, «обслуживающий» всю территорию США, вместо необходимых двух (по одному на западное и восточное побережья США). По словам Ч. Ли, возглавляющего отдел аэрокосмических служб НАСА, запуск нескольких из этих спутников будет отложен, некоторые же из них, возможно, никогда не будут запущены.

Эксперты отмечают, что нынешняя ситуация не столь сложна, как считалось сначала; США не лишены полностью возможности запускать в космос ракеты с наиболее важным полезным грузом. Летом этого года планировался запуск двух ракет «Атлас», одна из которых должна была вывести на орбиту метеорологический спутник (но не в качестве замены спутника GOES—5), а другая — спутник связи ВМФ США. («Атлас», однако, не способен полностью заменить «Титан», поскольку последний может нести в три раза больший полезный груз.) Кроме того, у США



ВЗРЫВ ракеты «Титан» в апреле этого года на ванденбургской базе ВВС США причинил значительные повреждения единственной в США стартовой площадке, откуда возможен запуск крупных спутников на полярные орбиты. На этих орбитах работают большинство разведывательных и военных метеорологических спутников. Фото из журнала Wide World.

имеется несколько ракет-носителей более раннего образца, которые в случае необходимости могут быть приспособлены к тому, чтобы нести небольшой полезный груз. Согласно одному промышленному источнику, существует даже возможность срочного изготовления ракеты для вывода большого спутника на полярную орбиту.

Все эти меры сопряжены, однако, с большими расходами. Для переделывания стартовой площадки, с тем чтобы с нее можно было бы запускать вместо «Титана» указанные ракеты, потребуется как минимум 40—50 млн. долл. Модификация же каждой ракеты обойдется в 60—70 млн. долл., даже если затраты на их механическую обработку, которую потребует эта модификация, распределятся на 10—12 ракет. Как отмечается в промышленном источнике, ракета для запуска спутника на полярную орбиту «будет представлять собой систему, собранную, как и автомобиль «Роллс-Ройс», вручную».

Помимо высоких затрат, модификация ракет-носителей более раннего образца нецелесообразна и по той причине, что их осталось не так уж и много. Постепенно они вытесняются шаттлами, которым отводится роль главных средств доставки на орбиту космических аппаратов. (У НАСА осталось только две ракеты-носителя «Дельта».) По-видимому, наиболее реальной заменой являются некоторые «вспомогательные ракеты-носители одноразового применения», которые были закуплены ВВС США два года назад («несмотря на то, — как отмечает Уилон, — что НАСА было решительно против этого») и будут поставлены им в 1988 г. Эти ракеты, вероятно, не станут использоваться для запуска коммерческих спутников связи.

Замена ракет-носителей шаттлами может привести к еще более серьезному кризису. В настоящее время число работающих в космосе спутников дальней связи достаточно, чтобы удовлетворить запросы большинства пользователей. Тем не менее к 1989—1990 гг. возникнет необходимость в профилактическом обслуживании большинства этих спутников или их замене. В результате потребуются ракеты-носители, которых для этой цели у США может не оказаться. Выход спутника из строя отрицательно сказывается на всей экономике. Представитель министерства транспорта США (в ведении которого находится частный сектор коммерческого использования космических аппаратов) отмечает: «В каком положении окажутся пользователи компьюте-

ров, подключенных к спутниковым каналам передачи информации и не имеющих других каналов связи? Проблема эта гораздо серьезнее, чем полагают сейчас».

Однако в министерстве транспорта большие надежды возлагаются на привлечение частных фирм к коммерческим космическим программам: этим фирмам предлагается покупать собственные ракеты-носители (и, возможно, даже строить свои стартовые площадки), чтобы предоставлять услуги по космическим перевозкам в качестве обычных коммерческих услуг. Чтобы ускорить их деятельность, министерство транспорта предлагает исключить из программ НАСА (в частности, из программы «Спейс-шаттл») запуск ракет-носителей с полезным грузом, используемым в коммерческих целях. Частным компаниям тем самым будет предоставлен новый рынок, на котором они смогут конкурировать с космическими программами, субсидируемыми правительством.

Какие более широкие изменения необходимы, чтобы избежать повторения нынешней кризисной ситуации? Почти любая новая национальная стратегия космических исследований будет предусматривать строительство более крупного и более разнообразного «флота» ракет-носителей в дополнение к шаттлам. Эксперты как внутри, так и вне правительства все чаще высказывают мнение, что слишком большое значение придавалось шаттлам как единственным системам, способным взять на себя большую часть задач. Многие наблюдатели единодушны в том, что разработке согласованного общего плана «доступа» в космос уделяется недостаточно внимания. Основной упор в настоящее время может быть сделан на то, чтобы использовать шаттлы для выполнения тех задач, которые требуют участия человека, а также на создание автоматических космических аппаратов для выполнения остальных задач. Пока не ясно, будет ли придерживаться такого направления предложение НАСА о строительстве крупной пилотируемой космической станции, которая могла бы использоваться как центр производства и разработок в космосе.

Ракушкин клей

ЧТОБЫ ПРИКРЕПИТЬСЯ, скажем, к поверхности камня, двусторчатые моллюски, например мидии, выделяют клейкое вещество, не уступающее по своим адгезивным качест-

вам эпоксидной смоле. Преимущество этого вещества в том, что оно эффективно под водой. После 10 лет исследований Дж. Уэйту из Коннектикутского университета удалось наконец выделить основной компонент клейкого вещества двусторчатых моллюсков и синтезировать его. Уэйт, а также группа исследователей из Национального стоматологического института, который финансировал эту работу, считают, что новое вещество найдет применение в медицине и промышленности.

Чтобы выделить небольшое количество клейкого вещества, Уэйту и его коллегам пришлось переработать 3000 моллюсков, что заняло 3 года. Выяснилось, что, подобно эпоксидному клею, оно состоит главным образом из смолы, называемой полифенолпротеином. Как показал химический анализ, адгезивные свойства этого вещества обусловлены повторяющейся последовательностью из 10 аминокислот. По-видимому, вследствие поверхностного натяжения в молекулах смолы вытесняется вода, так что между ними и субстратом могут образоваться связи трех типов (водородные, ионные и ковалентные). Осуществив твердофазный синтез пептида, группа Уэйта получила клейкий материал.

Поскольку его адгезивные свойства сохраняются в водной среде, предполагается, что новое вещество будет эффективным для пломбирования зубов, а также, возможно, для лечения переломов и поврежденных сухожилий. Кроме того, оно обладает замечательной особенностью: не вытесняется с занимаемого места другими адгезивными веществами. По этой причине в военноморском флоте США надеются использовать синтетическое клейкое вещество для покрытия днищ судов, что должно воспрепятствовать их обрастанию морскими организмами.

Ген-управляющий в клетках стафилококков

БАКТЕРИИ ВИДА *Staphylococcus aureus* вызывают у человека ряд заболеваний, в том числе фурункулез, синдром токсического шока, а также инфекционные процессы в коже, крови, сердце и легких. Стафилококковые инфекции — подлинный бич в больницах, так как они не поддаются лечению антибиотиками. Считается, что при заражении стафилококками заболевание развивается главным образом из-за выделяемых бактериями

ферментов и токсичных белков, которые воздействуют на клетки и ткани. Р. Новик и его коллеги из Научно-исследовательского института здравоохранения в Нью-Йорке и из Медицинской школы Миннесотского университета обнаружили, что образование этих вредоносных веществ управляется особым геном, обозначенным *agr* (от англ. accessory gene regulator — регулятор дополнительных генов). Ген *agr* активирует другие гены, кодирующие некоторые из выделяемых стафилококками белков (экзобелков). Результаты исследования опубликованы в журнале «Molecular and General Genetics».

Было известно, что при мутациях *S. aureus*, нарушающих образование какого-либо экзобелка, часто одновременно изменяется количество и многих других экзобелков. Это позволяло предполагать, что существует некий ген, координирующий активность множества генов экзобелков. Гипотеза единого гена — регулятора синтеза экзобелков была доказана благодаря счастливой случайности. В ходе работ по выделению гена токсина, обуславливающего синдром токсического шока, проверялся синтез этого токсина в рекомбинантном штамме *S. aureus*, который отличается тем, что не способен продуцировать другой токсин — α -гемолизин, разрушающий клетки крови. Предполагалось, что такое свойство штамма объясняется инактивацией гена α -гемолизина транспозоном («прыгающим геном»), который встроился в ген α -гемолизина. Исследователи ожидали, что ген токсина, вызывающего шок (этот токсин явно присутствовал в данном штамме), должен экспрессироваться.

Однако оказалось, что штамм, растущий в культуре, синтезирует в аномально малых количествах не только α -гемолизин, но и токсин, вызывающий шок, а также два других токсина, повреждающих клетки крови. Это позволило предположить, что транспозон встроился не в ген α -гемолизина, а в ген «управляющий», который контролирует активность не одного, а нескольких генов экзобелков. Действительно, в локусе α -гемолизина у этого штамма *S. aureus* исследователи не обнаружили транспозона.

При дальнейшем изучении штамма, растущего в культуре, было установлено, что уровень мРНК токсина, вызывающего шок, и α -гемолизина снижен. Поскольку мРНК служит матрицей при образовании веществ, закодированных в ДНК, подобное уменьшение количества мРНК указывало на то, что ген «управляющий», *agr*, влияет на содержание мРНК в

клетке; вероятно, увеличивается скорость транскрипции соответствующего участка ДНК.

По словам Новика, он и его коллеги скоро завершат выделение гена *agr* и определение его нуклеотидной последовательности. Исследователи надеются, что, располагая изолированным геном с известной последова-

тельностью, они сумеют идентифицировать продукт гена «управляющего» и выявить его активность. Продукт гена *agr* является, скорее всего, белком, опосредующим активность *agr*. В будущем группа Новика намерена заняться поисками механизма, активирующего этот ген.

Издательство МИР предлагает:

Я. Перины

КВАНТОВАЯ СТАТИСТИКА ЛИНЕЙНЫХ И НЕЛИНЕЙНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

Перевод с английского

Книга охватывает широкий круг вопросов, связанных с квантовой теорией излучения, статистикой фотонов и фотоотсчетов в измерениях различного типа, в том числе в лазерных измерениях. Научная новизна монографии заключается в том, что в ней с единых позиций метода когерентных состояний исследованы статистические свойства квантовых оптических полей и уделено особое внимание рассмотрению нелинейных оптических явлений. Всего в книге 10 глав. Первая глава является введением. Главы 2—4 (они базируются на материале книги Я. Перины «Когерентность света»: Мир, 1974) знакомят с аппаратом вторичного квантования и содержат информацию, необходимую для квантостатистического толкования корреляционной теории излучения. В главе 5 общий метод когерентных состояний применяется к практически важным для оптической связи частным случаям поля, таким как гауссовы поля, лазерные поля и их суперпозиции. Последние главы посвящены нелинейным явлениям, обзор которых с точки зрения традиционного описания содержится в главе 6.

В седьмой главе рассматриваются приближение Гейзенберга — Ланжевена и приближение обобщенного уравнения Фоккера — Планка применительно к статистическим свойствам излучения. Глава 8 содержит развитие квантовой динамической теории статистических свойств излучения в сплошных средах, включая рассмотрение собственного поля излучения среды. В главе 9 с единых позиций обобщенного уравнения Фоккера — Планка и уравнений Гейзенберга — Ланжевена исследованы наиболее важные нелинейные оптические явления. Особое внимание уделено антикорреляционным и расходящимся эффектам, а также субпланковскому поведению оптических полей, не имеющему классических аналогов. В заключительной, десятой главе автор формулирует проблемы, требующие решения в рамках теории квантостатистических свойств нелинейных оптических явлений.

Для специалистов в области квантовой оптики и электроники, оптической локации и связи и смежных с ними областей современной физики, а также для студентов и аспирантов.

1987, 21 л. Цена 3 р. 10 к.



(начало см. на с. 3)

Библиография

Neil F. Hadley (НЕЙЛ Ф. ХЭДЛИ «Кутикула членистоногих») — профессор зоологии в Университете шт. Аризона. Степень бакалавра получил в 1963 г. в Университете Восточного Мичигана, степень доктора — в Колорадском университете, после чего занялся преподавательской деятельностью в Университете шт. Аризона. Хэдли был редактором сборника «Экологическая физиология пустынных организмов» («Environmental Physiology of Desert Organisms», Academic Press, 1975), а также написал книгу «Адаптивная роль липидов в биологических системах» («The Adaptive Role of Lipids in Biological Systems», John Wiley & Sons, 1985). Его научные интересы касаются сравнительной и экологической физиологии; в последние годы, в частности, он занимается вопросами сохранения и потери воды наземными членистоногими.

Издательство МИР предлагает:

Х.-К. Рот, Ф. Келлер,
Х. Шнайдер

РАДИОСПЕКТРОСКОПИЯ ПОЛИМЕРОВ

Перевод с немецкого

Книга посвящена применению современных методов высокочастотной спектроскопии (ЯМР и ЭПР) в физике, химии и технологии полимеров. Авторам удалось объединить в этом издании учебник для студентов старших курсов и монографию с изложением последних достижений в данной области знания.

Для студентов и аспирантов химических и химико-технологических вузов, работников заводских лабораторий, молодых специалистов, повышающих свою квалификацию.

1987, 22 л. Цена 3 р. 60 к.



НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ КУЛЬТУРЫ

CHEMICALS FROM BIOMASS: PETROCHEMICAL SUBSTITUTION OPTIONS. E.S. Lipinsky in *Science*, Vol. 212, No. 4502, pages 1465-1471; June 26, 1981.

NEW OILSEED CROPS ON THE HORIZON. L.H. Princen in *Economic Botany*, Vol. 37, No. 4, pages 478-492; October-December, 1983.

DEVELOPMENT OF NEW CROPS FOR INDUSTRIAL RAW MATERIALS. L.H. Princen and J.A. Rothfus in *Journal of the American Oil Chemists' Society*, Vol. 61, No. 2, pages 281-289; February, 1984.

ГИГАНТСКИЕ СТРУКТУРЫ ВСЕЛЕННОЙ

SUPERCLUSTERS. J.H. Oort in *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, Vol. 21, pages 373-428; 1983.

A POSSIBLE 300 MEGAPARSEC FILAMENT OF CLUSTERS IN PERSEUS-PEGASUS. David J. Batuski and Jack O. Burns in *The Astrophysical Journal*, Vol. 299, No. 1, Part 1, pages 5-14; December 1, 1985.

INNER SPACE OUTER SPACE. Edward W. Kolb, Michael S. Turner, David Lindley, Keith Olive and David Seckel. The University of Chicago Press, 1986.

Зельдович Я.Б., Шандарин С.Ф. «ЧЕРНЫЕ ОБЛАСТИ» ВО ВСЕЛЕННОЙ. — Земля и Вселенная, 1982, № 2, с. 2-6.

Пиблс Ф.Дж.Э. СТРУКТУРА ВСЕЛЕННОЙ В БОЛЬШИХ МАСШТАБАХ. — М.: Мир, 1983.

Шандарин С.Ф., Дорошкевич А.Г., Зельдович Я.Б. КРУПНОМАСШТАБНАЯ СТРУКТУРА ВСЕЛЕННОЙ. — Успехи физических наук, 1983, т. 139, с. 83-134.

АНТИИДИОТИПЫ И ИММУНИТЕТ

IDIOTYPE NETWORKS IN HEPATITIS B VIRUS INFECTIONS. R.C. Kennedy in *Current Topics in Microbiology and Immunology*, Vol. 119, pages 1-13; 1985.

VACCINES UTILIZING INTERNAL IMAGE ANTI-IDIOTYPIC ANTIBODIES THAT MIMIC ANTIGENS OF INFECTIOUS ORGANISMS. Ronald C. Kennedy, Gordon R. Dreesman and Heinz Kohler in *Bio Techniques*, Vol. 3, No. 5, pages 404-409; 1985.

ANTI-IDIOTYPIC ANTIBODIES AS IMMUNOGENS. *Immunological Reviews*, No. 90; April, 1986.

ANTI-IDIOTYPIC ANTIBODY VACCINE FOR TYPE B VIRAL HEPATITIS IN CHIMPANZEES. Ronald C. Kennedy, Jorg W. Eichberg, Robert E. Lanford and Gordon R. Dreesman in *Science*, Vol. 232, No. 4747, pages 220-223; April 11, 1986.

СТРОЕНИЕ ГОРНЫХ ХРЕБТОВ

ACTIVE TECTONICS OF TIBET. Peter Molnar and Paul Tappanier in *Journal of Geophysical Research*, Vol. 83, No. B11, pages 5361-5375; November 10, 1978.

CONSTRAINTS ON THE STRUCTURE OF THE HIMALAYA FROM AN ANALYSIS OF GRAVITY ANOMALIES AND A FLEXURAL MODEL OF THE LITHOSPHERE. H. Lyon-Caen and Peter Molnar in *Journal of Geophysical Research*, Vol. 88, No. B10, pages 8171-8191; October 10, 1983.

GRAVITY ANOMALIES AND FLEXURE OF THE LITHOSPHERE AT MOUNTAIN RANGES. G.D. Karner and A.B. Watts in *Journal of Geophysical Research*, Vol. 88, No. B12, pages 10449-10477; December 10, 1983.

SEISMICITY, FAULT PLANE SOLUTIONS, DEPTH OF FAULTING, AND ACTIVE TECTONICS OF THE ANDES OF PERU, ECUADOR, AND SOUTHERN COLOMBIA. Gerardo Suárez, Peter Molnar and B.C. Burchfiel in *Journal of Geophysical Research*, Vol. 88, No. B12, pages 10403-10428; December 10, 1983.

ЭКЗОТИЧЕСКИЕ АТОМНЫЕ ЯДРА

POTENTIAL ENERGY SURFACE MODEL OF COLLECTIVE STATES. M. Seiwert, J.A. Maruhn and W. Greiner in *High-Angular Momentum Property of Nuclei*, edited by Noah R. Johnson, Harwood Academic Publishers, 1983.

NUCLEAR SHAPES AND SHAPE TRANSITIONS. T. Bengtsson, P. Möller, J.R. Nix and Jing-ye Zhang in *Physica Scripta*, Vol. 29, No. 5, pages 402-430; May, 1984.

MAGIC NUMBERS, REINFORCING SHELL GAPS AND COMPETING SHAPES IN NUCLEI FAR FROM STABILITY. J.H. Hamilton in *Progress in Particle and Nuclear Physics*, Vol. 15, pages 107-134; 1985.

ADVANCES IN STUDIES OF NUCLEI FAR FROM STABILITY. J.H. Hamilton, P.G. Hansen and E.F. Zganjar in *Reports on Progress in Physics*, Vol. 48, No. 5, pages 631-708; May, 1985.

Издательство МИР предлагает:

С. Тикадзуми ФИЗИКА ФЕРРОМАГНЕТИЗМА. МАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ

Перевод с японского

Во второй книге монографии (первая вышла в издательстве «Мир» в 1983 г.) завершается изложение физики ферромагнетиков. Книга начинается с главы, в которой рассматривается магнитная анизотропия и магнитострикция. Исследуется теория явлений, методы изучения и другие вопросы. Во второй главе дается изложение основных вопросов доменной структуры. Гл. 3 называется «Процессы намагничивания» и содержит в себе сведения о кривой намагничивания, магнитном последствии, потерях от вихревых токов, динамике спинов и магнитном резонансе. В гл. 8, озаглавленной «Магнетизм и физическая природа вещества», три параграфа: магнетизм и тепло (магнетокалорический эффект, аномальная удельная теплоемкость, адиабатическое размагничивание, инвар-эффект), магнетизм и электричество (эффект магнетосопротивления, эффект Холла, МЭ-эффект), магнетизм и свет (эффект Фарадея, зеemanовское расщепление, фотоиндуцирование). В заключительной главе, посвященной применениям ферромагнетизма, рассматриваются мягкие магнитные материалы, магнитомягкие материалы и другие магнитные материалы.

Для физиков, инженеров, аспирантов и студентов, нуждающихся в достаточно полном современном пособии по физике ферромагнетизма и его приложениям.

1987, 23 л. Цена 3 р. 60 к.



Карнаухов В. А., Петров Л. А. ЯДРА, УДАЛЕННЫЕ ОТ ЛИНИИ БЕТА-СТАБИЛЬНОСТИ. — М.: Энергоатомиздат, 1981.

ПРОСТРАНСТВО, ВРЕМЯ, ОСЯЗАНИЕ

THE CUTANEOUS "RABBIT": A PERCEPTUAL WORLD. Frank A. Geldard and Carl E. Sherrick in *Science*, Vol. 178, No. 4057, pages 178-179; October 13, 1972.

SENSORY SALTATION: METASTABILITY IN THE PERCEPTUAL WORLD. Frank A. Geldard. Lawrence Erlbaum Associates, 1975.

SALTATION IN SOMESTHESIS. Frank A. Geldard in *Psychological Bulletin*, Vol. 92, No. 1, pages 136-175; July, 1982.

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПОЛЕТА

VISUAL ELEMENTS IN FLIGHT SIMULATION. John Lott Brown in *Aviation, Space and Environmental Medicine*, Vol. 47, No. 9, pages 913-924; September, 1976.

THE INTERPRETATION OF VISUAL MOTION. Shimon Ullman. The MIT Press, 1979.

COMPUTER IMAGE GENERATION FOR FLIGHT SIMULATORS. B. J. Schachter in *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 1, No. 4, pages 29-68; October, 1981.

КУТИКУЛА ЧЛЕНИСТОНОГИХ

FINE STRUCTURE OF THE CUTICLE OF INSECTS AND OTHER ARTHROPODS. Barry K. Filshie in *Insect Ultrastructure*, Vol. 1, pages 281-312; 1982.

CUTICLE ULTRASTRUCTURE WITH RESPECT TO THE LIPID WATERPROOFING BARRIER. Neil F. Hadley in *The Journal of Experimental Zoology*, Vol. 222, No. 3, pages 239-248; September 1, 1982.

BIOLOGY OF THE INTEGUMENT, VOL. 1: INVERTEBRATES. Edited by J. Bereiter-Hahn, A. G. Matoltsy and K. Sylvia Richards. Springer-Verlag, 1984.

НАУКА ВОКРУГ НАС

THE FREEZING OF SUPERCOOLED LIQUIDS. Charles A. Knight. D. Van Nostrand Company, Inc., 1967.

SUPERHEATED ICE: TRUE COMPRESSION FRACTURES AND FAST INTERNAL MELTING. Charles A. Knight and Nancy

C. Knight in *Science*, Vol. 178, No. 4061, pages 613-614; November 10, 1972.

TYNDALL FIGURES AT GRAIN BOUNDARIES OF PURE ICE. Shinji Mae in *Nature*, Vol. 257, No. 5525, pages 382-383; October 2, 1975.

ЗАНИМАТЕЛЬНЫЙ КОМПЬЮТЕР

MICROCOMPUTER DISPLAYS, GRAPHICS, AND ANIMATION. Bruce A. Artwick. Prentice-Hall, Inc., 1984.

40 GREAT FLIGHT SIMULATOR ADVENTURES. Charles Gulick. COMPUTE! Publications, 1985.

В МИРЕ НАУКИ

Подписано в печать 21.08.86.
По оригинал-макету. Формат 60 × 90 1/8.

Гарнитуры таймс, гелиос.

Офсетная печать.

Объем 6,75 бум. л.

Усл.-печ. л. 13,50.

Уч.-изд. л. 16,78.

Усл. кр.-отт. 50,36.

Изд. № 25/4852. Заказ 656.

Тираж 20000 экз. Цена 2 р.

Издательство «Мир»

Набрано в редакции по подготовке оригинал-макетов издательства «Мир» на фотонаборном комплексе «Компьюграфик»

Типография В/О «Внешторгиздат»

Государственного комитета СССР

по делам издательств,

полиграфии и книжной торговли.

127576, Москва, Илимская, 7



Издательство **МИР** предлагает:

Б. Бухбергер, Д. Коллинз, Р. Лус

**КОМПЬЮТЕРНАЯ АЛГЕБРА.
СИМВОЛЬНЫЕ И АЛГЕБРАИЧЕСКИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ**

Перевод с английского



Коллективная монография известных зарубежных ученых (Австрия, США), дающая систематическое изложение алгоритмических аспектов и математических методов новой области исследований — аналитических вычислений на ЭВМ. Отражены полученные результаты исследований и наиболее важные нерешенные проблемы. Прослеживается четкая связь методов современной алгебры с вопросами их реализации на ЭВМ.

Краткое содержание: Алгебраическое упрощение. Вычисления, связанные с группами и их таблицами характеров. Интегрирование в замкнутом виде. Сум-

мирование в замкнутом виде. Исключение квантора в случае замкнутых полей: путеводитель по литературе. Вещественные нули многочленов.

Факторизация многочленов. Обобщенные последовательности остатков. Вычисления в трансцендентных расширениях. Арифметика в алгебраических областях. Системы машинной алгебры. Приложения машинной алгебры. Некоторые полезные оценки.

Для математиков — специалистов по современной алгебре и вычислительной математике, для разработчиков алгоритмов и пользователей программных средств ЭВМ.

1986, 22 л. Цена 2 р. 50 к.

В следующем номере:



ЛАЗЕРНЫЙ ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ

КВАЗИКРИСТАЛЛЫ — СТРУКТУРЫ НОВОГО ТИПА

ТРАНСПЛАНТАЦИИ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЕ

ПРОИСХОЖДЕНИЕ КУКУРУЗЫ:
НОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

МЕХАНИЗМ КЛЕТОЧНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ

СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ В ДОКЕМБРИИ

ТЕРМАЛЬНЫЕ НИШИ ПОЛОСАТОГО ОКУНЯ

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ЦИВИЛИЗАЦИИ МАЙЯ

К 100-ЛЕТИЮ ИЗОБРЕТЕНИЯ
СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ЧИСТОГО АЛЮМИНИЯ

КОМПЬЮТЕР
В РОЛИ ИСКУСНОГО МАГА-ИЛЛЮЗИОНИСТА