

В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN

Издание на русском языке



Январь **1** 1987

ВСТРЕЧА «ВОЯДЖЕРА-2»
С УРАНОМ

Издательство **МИР** предлагает:

ФОТОСИНТЕЗ

Под редакцией Говинджи

Перевод с английского



Книга, написанная коллективом американских авторов, представляет собой фундаментальный труд, исчерпывающим образом отражающий биохимические и биофизические механизмы фотосинтеза у высших растений, водорослей и бактерий. По оценке специалистов, она послужит основным справочником по вопросам фотосинтеза на протяжении ближайших 10—15 лет. В русском переводе книга выйдет с некоторыми сокращениями, но будет содержать дополнительный материал, отражающий достижения в изучении фотосинтеза за 1982—1985 гг.

Содержание. Том 1: Структу-

ра и функция фотосинтетического аппарата; первичные фотохимические реакции. Том 2: Транспорт электронов; фотофосфорилирование; генетика аппарата фотосинтеза; пути ассимиляции углерода; регуляция фотосинтеза факторами внешней среды; перспективы повышения продуктивности растений.

Книга предназначена для биохимиков, биофизиков, физиологов растений, экологов, а также для студентов, аспирантов и преподавателей биологических и сельскохозяйственных вузов.

1987, 70 л.

Цена 10 р. 50 к. за комплект.



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

№ 1 · ЯНВАРЬ 1987

В номере:

- СТАТЬИ**
- 4 Инженерное обеспечение встречи космического аппарата «Вояджер-2» с планетой Уран *Ричард П. Лэзер, Уильям И. Маклафлин, Донна М. Вулф*
Сложные проблемы, вызванные огромными расстояниями, низким уровнем освещенности, износом оборудования и возникающими механическими повреждениями, удалось решить с помощью команд, посылаемых с Земли на космический аппарат «Вояджер-2», летящий к Урану (Scientific American, November 1986, Vol. 255, No. 5)
- 16 Исследование Земли с помощью интерферометрии со сверхдлинной базой *Уильям Е. Картер, Дуглас С. Робертсон*
По радиосигналам, принимаемым от удаленных на миллиарды световых лет квазаров, можно измерять колебания Земли, изменения скорости ее вращения и дрейф материковых плит (Scientific American, November 1986, Vol. 255, No. 5)
- 26 РНК — фермент *Томас Р. Чек*
Долгое время считалось, что катализаторами всех реакций в живой клетке служат только белки — ферменты. Открытие того, что РНК может катализировать разрезание и сшивание самой себя, опровергает универсальность этого принципа, а также проливает свет на ранние этапы эволюции (Scientific American, November 1986, Vol. 255, No. 5)
- 38 Бозон Хиггса *Мартинус Дж. Г. Вельтман*
Введение бозона Хиггса в стандартную модель — теорию, описывающую взаимодействия элементарных частиц, — делает ее математически непротиворечивой. Для поиска этой неуловимой частицы необходимы новые ускорители (Scientific American, November 1986, Vol. 255, No. 5)
- 46 Лазерно-индуцированные процессы в атомах и молекулах *В. С. Летохов*
Под действием лазерных импульсов, длины волн которых настроены в резонанс с последовательностью квантовых переходов атома или молекулы в высоковозбужденные состояния, возможна избирательная ионизация атомов или диссоциация молекул определенного типа. На таких процессах фотоионизации и фотодиссоциации основаны новые применения лазеров — ультрачувствительная спектроскопия и лазерная атомно-молекулярная технология
- 58 Антарктические рыбы *Джозеф Т. Истмэн, Артур Л. Де Фриз*
Когда антарктические воды стали холодными и покрылись льдом, большая часть видов рыб вымерла и только представители одного подотряда — нототениевые — выжили в новых климатических условиях: у них имеются биологические антифризы и особые механизмы сохранения энергии (Scientific American, November 1986, Vol. 255, No. 5)
- 68 Объекты и их свойства в зрительном восприятии человека *Эни Трейсман*
Способность человека легко воспринимать осмысленные целостности в окружающем его мире определяется весьма сложными процессами. Автоматически извлекаемые из видимой сцены признаки собираются затем в целые объекты (Scientific American, November 1986, Vol. 255, No. 5)
- 80 Галилей и призрак Джордано Бруно *Лоуренс С. Лернер, Эдвард А. Госселин*
Часто их обоих называют «мучениками» в науке, хотя для Джордано Бруно астрономия была лишь средством выражения своих философских и теологических идей. Галилея же судили отчасти потому, что ему ошибочно приписывали цели Джордано Бруно (Scientific American, November 1986, Vol. 255, No. 5)

- РУБРИКИ**
- 3 Об авторах
15 50 и 100 лет назад
36, 66, 79,
89, 95, 108 Наука и общество
90 Наука вокруг нас
96 Занимательный компьютер
102 Книги
111 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. Краснопецев

ЛИТЕРАТУРНЫЕ РЕДАКТОРЫ
М. М. Попова
М. В. Суrowова

ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
С. А. Стулов

ЗАВЕДУЮЩАЯ РЕДАКЦИЕЙ
Т. Д. Франк-Каменецкая

РУКОВОДИТЕЛЬ ГРУППЫ ФОТОНАБОРА
Г. С. Азимов

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР
Л. П. Чуркина

КОРРЕКТОР
Н. А. Вавилова

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», 1987

На обложке



ИНЖЕНЕРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВСТРЕЧИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «ВОЯДЖЕР-2» С ПЛАНЕТОЙ УРАН

Рисунок на обложке представляет момент наибольшего сближения «Вояджера-2» с Ураном сразу после пересечения им плоскости колец планеты (как это мог бы увидеть наблюдатель). Это событие произошло 24 января 1986 г. и дало ценную информацию о самой планете, ее кольцах и спутниках. Для осуществления полета «Вояджера-2» и успешного функционирования научной аппаратуры на борту потребовалось немало мастерства и изобретательности ученых и специалистов (см. статью Ричарда П. Лэзера, Уильяма И. Маклафлина и Донны М. Вулф «Инженерное обеспечение встречи космического аппарата «Вояджер-2» с планетой Уран» на с. 4). Космический аппарат был запущен более 9 лет назад; основной элемент его конструкции — белая 3,7-метровая параболическая радиоантенна. От основания чаши антенны вверх отходит ферма, на которой укреплены различные приборы: камеры, спектрометры и датчики частиц; ниже расположены три источника электроэнергии и длинная штанга (золотистого цвета) с двумя магнитометрами на ней.

Иллюстрации

ОБЛОЖКА: Ken Hodges

СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК
5	Jon Brenneis		ядерной физики им. Б. П. Константинова АН СССР		Prentiss (<i>справа</i>)
6-7	Hank Iken			69	Jon Brenneis
8	Hank Iken, (<i>вверху</i>), Jet Propulsion Laboratory/National Aeronautics and Space Administration (<i>внизу</i>)	48, 49	С. А. Стулов	70-78	Jerome Kuhl
		50	С. А. Стулов (<i>вверху слева и внизу</i>) А. А. Чумичев (<i>вверху справа</i>)	81	Scala/Art Resource
		51	С. А. Стулов	82	Yale University Library
		52	А. А. Чумичев	83	Bibliotheque Nationale
9-11	Hank Iken	53-56	С. А. Стулов	84	Scala/Art Resource
12-13	Jet Propulsion Laboratory/National Aeronautics and Space Administration	59	Joseph T. Eastman, Ohio University, and Arthur L. DeVries, University of Illinois at Urbana-Champaign	85	Quesada/Burke, courtesy of Rare Book Division, Astor, Lenox and Tilden Foundations, New York Public Library
17	Douglas S. Robertson, National Geodetic Survey	60	Tom Prentiss	86	Rare Book Division, Astor, Lenox and Tilden Foundations, New York Public Library
18-23	George Kelvin, Science Graphics	61	Edward Bell	90-94	Michael Goodman
27-34	Thomas C. Moore	62-64	Tom Prentiss	97-98	David Wiseman, University of Western Ontario
39	Hank Iken	65	Joseph T. Eastman, Ohio University, and Arthur L. DeVries, University of Illinois at Urbana-Champaign	99	Johnny Johnson
40	Edward Bell				
41-44	Andrew Christie				
47	Ленинградский институт				

Об авторах

Richard P. Laeser, William I. McLaughlin, Donna M. Wolff (РИЧАРД П. ЛЭЗЕР, УИЛЬЯМ И. МАКЛАФЛИН, ДОННА М. ВУЛЬФ «Инженерное обеспечение встречи космического аппарата «Вояджер-2» с планетой Уран») — сотрудники Лаборатории реактивного движения (JPL), принимали активное участие в разработке проекта «Вояджер» и участвуют в его осуществлении. Лэзер — руководитель проекта с 1981 г., при запуске с Земли и пролете Юпитера и Сатурна обоими аппаратами занимал пост директора полета. Он имеет две научные степени в области электротехники: степень бакалавра получил в Массачусетском технологическом институте и степени магистра — в Южнокалийфорнийском университете. Маклафлин являлся руководителем группы управления полетом во время пролета Урана космическим аппаратом «Вояджер-2». После получения степени доктора философии в области математики в Калифорнийском университете в Беркли в 1968 г. он приступил к работе по лунной программе «Аполлон» в Bellcom, Inc. В 1971 г. стал сотрудником JPL, где принял участие во многих космических проектах, включая полет «Викинг» к Марсу, океанографический спутник «Сисат» и «Инфракрасный астрономический спутник» (IRAS). Вулф работает в JPL с 1974 г., была заместителем руководителя группы управления полетом «Вояджера-2» при пролете Урана. Кроме работы по проекту «Вояджер» она участвовала в подготовке нескольких космических полетов, таких, как «Галилей» (зонд на Юпитер) и «Улисс» (зонд к Солнцу) (оба пока отложены на неопределенный срок). Вулф получила степени бакалавра в области прикладной математики в Калифорнийском технологическом институте в 1977 г. и магистра в области статистики в Университете Ратгерса в 1979 г.

William E. Carter, Douglas S. Robertson (УИЛЬЯМ Е. КАРТЕР, ДУГЛАС С. РОБЕРТСОН «Исследование Земли с помощью интерферометрии со сверхдлинной базой») — сотрудники Национальной геодезической службы (НГС) США. Карьера Картера как геодезиста началась в ВВС США. После восьми лет службы в качестве офицера-геодезиста он в 1969 г. перешел на работу в Исследовательскую лабораторию ВВС в Кембридже, где занимался разработкой, строительством и эксплуатацией первой лунной обсер-

ватории в Туксоне, оснащенной лазерными установками. В 1973 г. Картера после присуждения ему ученой степени доктора философии в Аризонском университете назначили директором обсерватории в Халеакала, принадлежащей Гавайскому университету в Маунао. В НГС Картер работает с 1976 г. Робертсон имеет ученые степени бакалавра физики и доктора философии в области геофизики и исследования планет. Последняя была присуждена ему Массачусетским технологическим институтом, после чего Робертсон работал в фирме Computer Sciences Corporation, где занимался разработкой программ для автоматизированной обработки данных, полученных с помощью интерферометрии со сверхдлинной базой. В 1977 г. Робертсон перешел на работу в НГС. Занимается изучением возможности использования радиointерферометрии для исследований движения и структуры Земли.

Thomas R. Cech (ТОМАС Р. ЧЕК «РНК — фермент») — профессор химии и биохимии в Колорадском университете в Боулдере. Степень бакалавра получил в 1970 г. в Гринеллском колледже (шт. Айова). Затем учился в аспирантуре Калифорнийского университета в Беркли, где в 1975 г. ему была присвоена степень доктора философии. Будучи сотрудником Национального института рака, работал на кафедре биологии Массачусетского технологического института. После этого, в 1978 г., перешел в Колорадский университет.

Martinus J.G. Veltman (МАРТИНУС ДЖ. Г. ВЕЛЬТМАН «Бозон Хиггса») — профессор физики Мичиганского университета. Степень доктора философии получил в 1963 г. в Утрехтском университете. В том же году переехал в США и стал сотрудником Станфордского ускорительного центра. С 1966 г. — профессор Утрехтского университета и с тех пор занимается проблемой перенормировки полей Янга — Миллса. В Мичиганском университете работает с 1981 г.

ВЛАДИЛЕН СТЕПАНОВИЧ ЛЕТОХОВ («Лазерно-индуцированные процессы в атомах и молекулах») — заведующий отделом лазерной спектроскопии и заместитель директора (с 1971 г.) Института спектроскопии АН СССР, профессор Московского физико-технического института, специалист в области лазерной спектроскопии и лазерной фотохимии.

Окончил Московский физико-технический институт (1963 г.), степени кандидата (1969 г.) и доктора (1970 г.) физико-математических наук получил в Физическом институте им. П. Н. Лебедева; лауреат Ленинской премии (1978 г.), заслуженный член Американского оптического общества (1976 г.). В. С. Летохов — автор ряда монографий и статей по различным методам лазерной спектроскопии, лазерно-индуцированным атомно-молекулярным процессам и их применениям (лазерное разделение изотопов, лазерная химия и т. д.).

Joseph T. Eastman, Arthur L. DeVries (ДЖОЗЕФ Т. ИСТМЭН, АРТУР Л. ДЕ ФРИЗ «Антарктические рыбы»). Истмэн учился и закончил аспирантуру в Миннесотском университете. Там же в 1970 г. получил степень доктора философии. После этого в течение года преподавал в Медицинской школе Оклахомского университета, где затем стал ассистентом по анатомии. С 1973 по 1979 г. работал в Медицинской школе Университета Брауна. С 1979 г. он доцент анатомии и зоологии в Университете шт. Огайо. Истмэн трижды вел полевые исследования в Антарктике; одно из них было посвящено тюленям и два — рыбам. Де Фриз получил степень бакалавра в Университете шт. Монтана, докторскую степень — в Станфордском университете. Еще будучи аспирантом, он начал изучать биологические антифризы у рыб, обитающих в холодных водах. С 1971 по 1976 г. он в качестве физиолога вел исследовательскую работу в Скриппсовском океанографическом институте. Затем перешел в Иллинойский университет в Эрбана-Шампейн, где с 1984 г. он профессор физиологии.

Anne Treisman (ЭНН ТРЕЙСМАН «Объекты и их свойства в зрительном восприятии человека») — профессор психологии Калифорнийского университета в Беркли. Родилась в Великобритании, образование получила в Кембриджском и Оксфордском университетах. Вела научно-исследовательскую работу в Великобритании и США, в 1978 г. получила должность профессора психологии в Университете Британской Колумбии. В Беркли работает с 1986 г.

Lawrence S. Lerner, Edward A. Gosselin (ЛОУРЕНС С. ЛЕРНЕР, ЭДВАРД А. ГОССЕЛИН «Галилей и призрак Джордано Бруно»). Сотрудничество авторов, скрепленное многолетней дружбой, началось с совместного yhte-

(продолжение см. на с. 112)

Инженерное обеспечение встречи космического аппарата «Вояджер-2» с планетой Уран

*Сложные проблемы, вызванные огромными расстояниями,
низким уровнем освещенности, износом оборудования
и возникающими механическими повреждениями,
удалось решить с помощью команд, посылаемых с Земли
на космический аппарат «Вояджер-2»,
летевший к Урану*

РИЧАРД П. ЛЭЗЕР, УИЛЬЯМ И. МАКЛАФЛИН,
ДОННА М. ВУЛФ

КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ «Вояджер-2» 24 января 1986 г. приблизился к Урану на расстоянии 81 000 км над верхней границей его облаков. С этой необычайно выгодной точки космический аппарат через 3 млрд. км, которые отделяют Уран от Земли, передал захватывающие изображения его спутников и колец. Кроме того, собрано много других ценных данных о системе Урана, на обработку которых потребуются несколько лет работы ученых, занимающихся планетными исследованиями. Эта выдающаяся победа стала возможной не только в результате усилий специалистов и определенной удаче — необходимой дополнительной составляющей была интенсивная инженерная работа по управлению, контролю и перепрограммированию полета космического аппарата.

Решение послать «Вояджер-2» к Урану было принято через 3,5 года после его запуска в 1977 г. «Вояджер-2», как и «Вояджер-1», был спроектирован для исследования только Юпитера и Сатурна. К январю 1981 г., когда было принято решение добавить Уран в маршрут «Вояджера-2», эти два космических аппарата уже завершили свою общую программу. «Вояджер-1» сблизился с Юпитером и Сатурном, передав на Землю обширную информацию о двух планетах, включая сведения о действующих вулканах на Ио — одном из спутников Юпитера. «Вояджер-2» (запущенный раньше «Вояджера-1») подошел к

точке наибольшего сближения с Юпитером и находился на пути к Сатурну.

Тем не менее научная группа проекта «Вояджер» имела достаточно причин расширить программу: положение планет позволяло направить «Вояджер-2» к Урану и Нептуну за счет гравитационного воздействия Сатурна. (Такой же «гравитационный» маневр был использован, чтобы послать «Вояджеры» от Юпитера к Сатурну.) Последний раз внешние планеты Солнечной системы располагались таким же образом около 180 лет назад. Такая уникальная возможность отпеснила на второй план тот факт, что вероятность надежной работы «Вояджера-2» на следующие пять лет оценивалась всего в 60—70%. Это намного ниже обычных критериев Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА), необходимых для одобрения подобных программ. Так было принято решение о полете «Вояджера-2» к Урану.

Когда «Вояджер-2» проходил Сатурн, его отделяли от Земли 1,5 млрд. км, и аппарат уже работал 4 года. Когда же он достиг Урана, и расстояние и время эксплуатации удвоились. Тем не менее «состояние» аппарата фактически улучшилось, так как большинство его подсистем были усовершенствованы в полете. Техническая группа проекта провела эту работу, несмотря на трудности, вызванные огромными расстояниями,

низким уровнем освещенности, износом оборудования и сбоями в системе энергоснабжения. Результатом их усилий была почти безукоризненно проведенная встреча с Ураном и более того — перспектива успешного сближения с Нептуном в 1989 г.

КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ «Вояджер» — излюбленная тема демонстрации в кино и по телевидению. Главная часть «Вояджера» — большая параболическая антенна с отражателем диаметром 3,7 м; через эту антенну осуществляется радиосвязь с Землей. От основания чаши антенны в противоположных направлениях отходят две фермы. Одна из них несет три радиоизотопно-термоэлектрических генератора, другая поддерживает платформу, на которой размещен комплекс научных приборов, включающих телевизионную систему. Между двумя фермами находится штанга, на которой закреплены магнитометры низкой и высокой чувствительности, а также штыревые антенны для плазменно-волновых и радиоастрономических наблюдений.

Три термоэлектрических генератора космического аппарата вырабатывают электроэнергию, используя энергию, которая высвобождается при радиоактивном распаде оксида плутония. Термоэлементы преобразуют тепловую энергию в электрическую. Эффективность генераторов низка (около 5%), но их большое преимущество в том, что они могут ра-

ботать во внешних слабоосвещенных зонах Солнечной системы, где фотovoltaические элементы (солнечные батареи, которые преобразуют световую энергию в электрическую) были бы неэффективны.

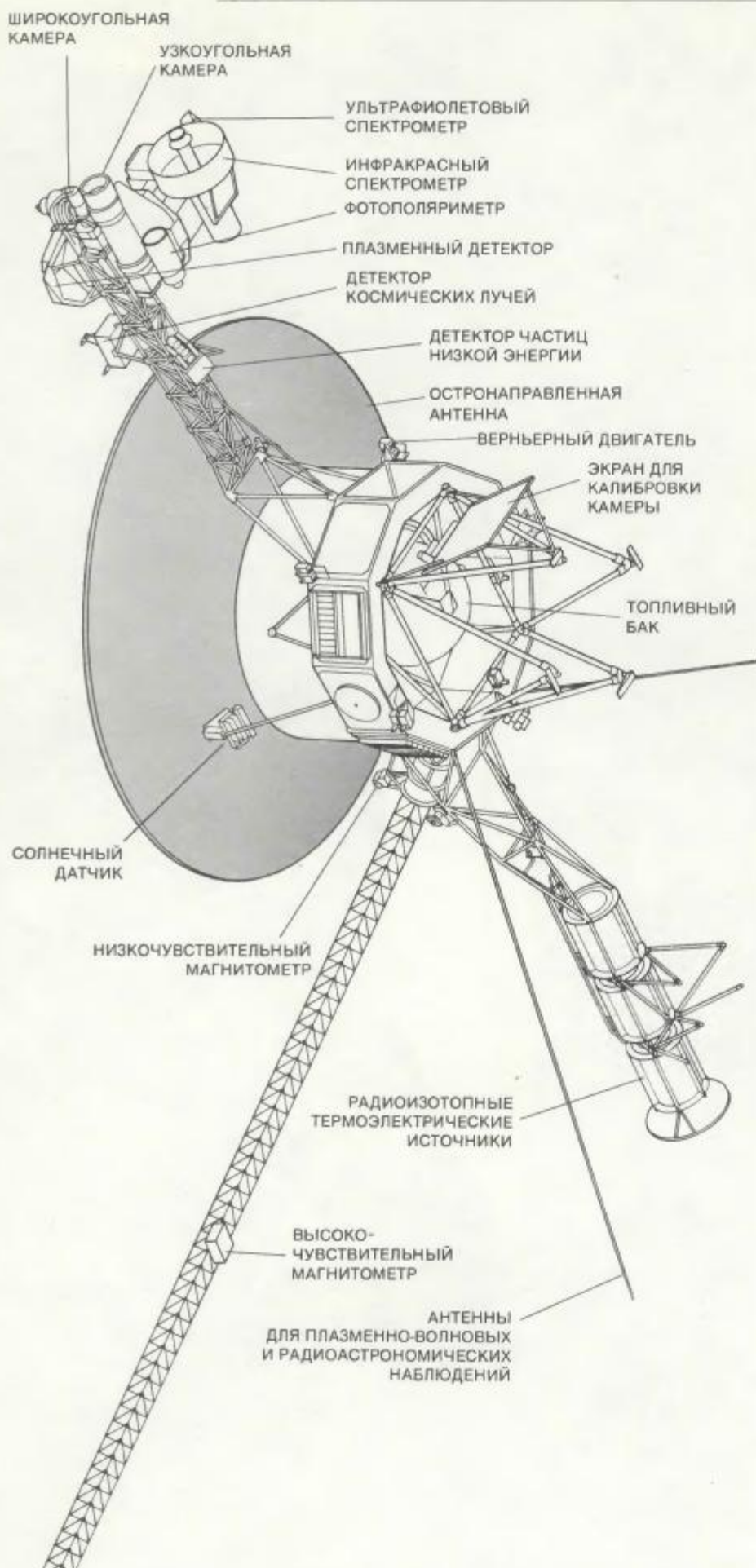
На платформе, с противоположной от генераторов стороны, наряду с двумя телекамерами размещены еще три прибора: фотополяриметр (прибор, который измеряет интенсивность и угол поляризации света) и два спектрометра, которые регистрируют длины волн электромагнитного излучения. Один спектрометр работает в инфракрасной области спектра, другой — в ультрафиолетовой. Платформа может сканировать в двух направлениях: по азимуту (горизонтально) и по углу возвышения. Движение платформы осуществляется с помощью зубчатых приводов. На ферме сканирующей платформы укреплен набор детекторов элементарных частиц. Все это оборудование вместе с магнитометрами и штыревыми антеннами позволяет проводить на «Вояджере» до десяти различных научных экспериментов. Радиосистема космического аппарата, которая служит связующим звеном с Землей, представляет собой еще одно средство, благодаря которому может быть осуществлен одиннадцатый, радиофизический эксперимент.

Наиболее важная бортовая аппаратура по сбору данных на «Вояджере» — это подсистема полетных данных (ППД), которая состоит из двух компьютеров (основного и дублирующего). Эти компьютеры наряду с другими задачами контролируют состояние научных приборов и переводят получаемые данные в определенный формат для передачи на Землю.

Две различные системы верньерных двигателей контролируют ориентацию и навигацию космического аппарата. Датчики выбрасывают газ, выделяющийся при каталитической реакции гидразина (соединения водорода и азота), который хранится в жидком виде в баке. Объем бортовых запасов гидразина является одним из важнейших факторов, так как двига-

МАКЕТ «ВОЯДЖЕРА» с его подсистемами находится в Лаборатории реактивного движения (JPL) и используется для отработки новых экспериментов, которые могут быть в дальнейшем проведены на «Вояджере-2», летящем к Нептуну после сближения с Ураном в январе 1986 г. В макете в отличие от реального космического аппарата, нет штанги с магнитометрами (см. рисунок на с. 6).





тели системы управления поддерживают заданную ориентацию параболической антенны на Землю. Космические аппараты «Вояджер» находятся в свободном полете; на их скорость и направление влияют гравитационные воздействия тел Солнечной системы, малые непрерывно уменьшающиеся силы, вызванные фотонами солнечного излучения и излучения источника энергии самого аппарата, а также работа собственных ракетных двигателей. Благодаря экономному расходованию гидразина после встречи «Вояджера-2» с Ураном в топливном баке космического аппарата осталось около половины всего запаса топлива.

РАСХОДОВАНИЕ гидразина — только одна из статей неизбежных потерь в ходе полета. Другие включают распад радиоизотопных материалов в термоэлектрических генераторах и износ различных частей аппарата. Единственный путь сократить потери ресурсов и соответственно продлить эффективную жизнеспособность космического аппарата — оптимально их использовать.

Энергоснабжение при сближении с Ураном оказалось более сложной проблемой, чем расход топлива. Сразу после запуска «Вояджера-2» выходная мощность термоэлектрических генераторов составляла более 470 Вт. К моменту, когда космический аппарат достиг Урана, в результате естественных потерь оксида плутония выходная мощность снизилась до 400 Вт; такой мощности было недостаточно, чтобы все подсистемы аппарата могли работать одновременно. Вследствие этого некоторые подсистемы могли включаться только после выключения других, что накладывало определенные ограничения на осуществление программы.

Например, когда космический аппарат огибал Уран, он вошел в зону затенения кольцами планеты и самой планетой (явление затмения). Предполагалось, что будет получена информация о температуре и составе атмосферы планеты, а также о размерах частиц, образующих кольца. Для

ОДИННАДЦАТЬ ЭКСПЕРИМЕНТОВ можно провести с помощью различных дистанционно управляемых приборов, находящихся на борту «Вояджера-2». Космический аппарат имеет систему энергоснабжения, комплекс средств связи и систему сбора данных. Две группы верньерных двигателей обслуживают систему ориентации и обеспечивают полетную траекторию «Вояджера-2».

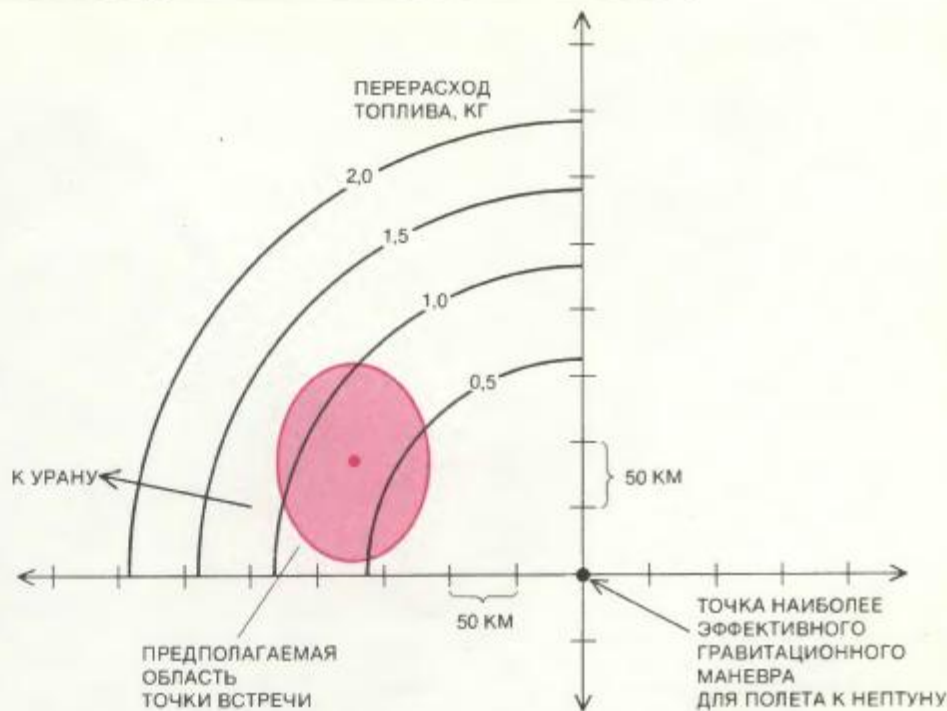
этого проводились наблюдения за ослаблением направляемого на Землю радиолуча бортового передатчика, последовательно проходящего сквозь кольца и атмосферу планеты во время захода аппарата за Уран. Чтобы осуществить такой эксперимент, исследователи планировали включить один из передатчиков аппарата в режим высокой мощности, увеличив электрическую нагрузку генератора на 53 Вт.

На этом этапе планировалось также фотографирование темной стороны планеты и ее колец с теневой стороны. Эта операция включает наведение телекамер путем перемещения сканирующей платформы и запись изображений на магнитную ленту, что связано с дополнительными энергозатратами. Если по каким-либо причинам подсистемы аппарата израсходовали бы большую мощность, то система защиты автоматически отключила бы некоторые другие подсистемы. Такая случайность в середине затмения прервала бы научные наблюдения до выхода аппарата из-за Урана и до приема с Земли команды на возобновление работы.

Таким образом, была необходима напряженная программа включений и выключений подсистем и нагревателей, чтобы ограничивать потребляемую мощность в период радиозатмения эксперимента. Программа была довольно рискованной: аппарат должен был работать вблизи предельной мощности 400 Вт. Чтобы снизить риск, перед затмением была проведена серия экспериментов, когда «Вояджер-2» работал почти на пределе возможностей энергосистемы. Полученные результаты показали, что такая программа действительно осуществима.

ДРУГОЙ важной проблемой, стоявшей перед «Вояджером-2» при прохождении Урана, был недостаток света. Хотя Уран только в два раза дальше от Солнца, чем Сатурн, освещенность на Уране составляет лишь $\frac{1}{4}$ часть освещенности на Сатурне. Поэтому при съемках время экспозиции должно было быть увеличено в 4 раза, что в свою очередь повышало вероятность размытости изображений из-за случайных движений космического аппарата при открытом затворе телекамеры.

Решение этой проблемы было достигнуто с помощью двух технических усовершенствований, которые позволили стабилизировать аппарат в «неподвижную» платформу. Первое усовершенствование было направлено на устранение нежелательных угловых моментов, возникающих при



РАСХОД ТОПЛИВА НА «ВОЯДЖЕРЕ-2» был сокращен за счет гравитационных сил от крупных тел Солнечной системы, которые соответствующим образом отклонили аппарат и направили его к цели. Перерасход топлива (показано дугами), вызванный отклонением от точки, где гравитационное воздействие Урана наиболее эффективно направило бы аппарат к Нептуну, был рассчитан за 5 дней до встречи с Ураном и составил примерно 0,5 — 1 кг. Научная группа проекта предпочла не проводить на этот раз маневр коррекции, так как перерасход топлива был не слишком большим (оставалось еще 62 кг). Координаты построены так, что плоскость проходит через центр Урана примерно на 100 тыс. км в указанном направлении и почти перпендикулярна направлению полета «Вояджера-2», когда он приближался к планете. Топливом служит гидразин — соединение водорода с азотом; он хранится в жидком виде и превращается в газ до того, как попадает в верньерные двигатели.

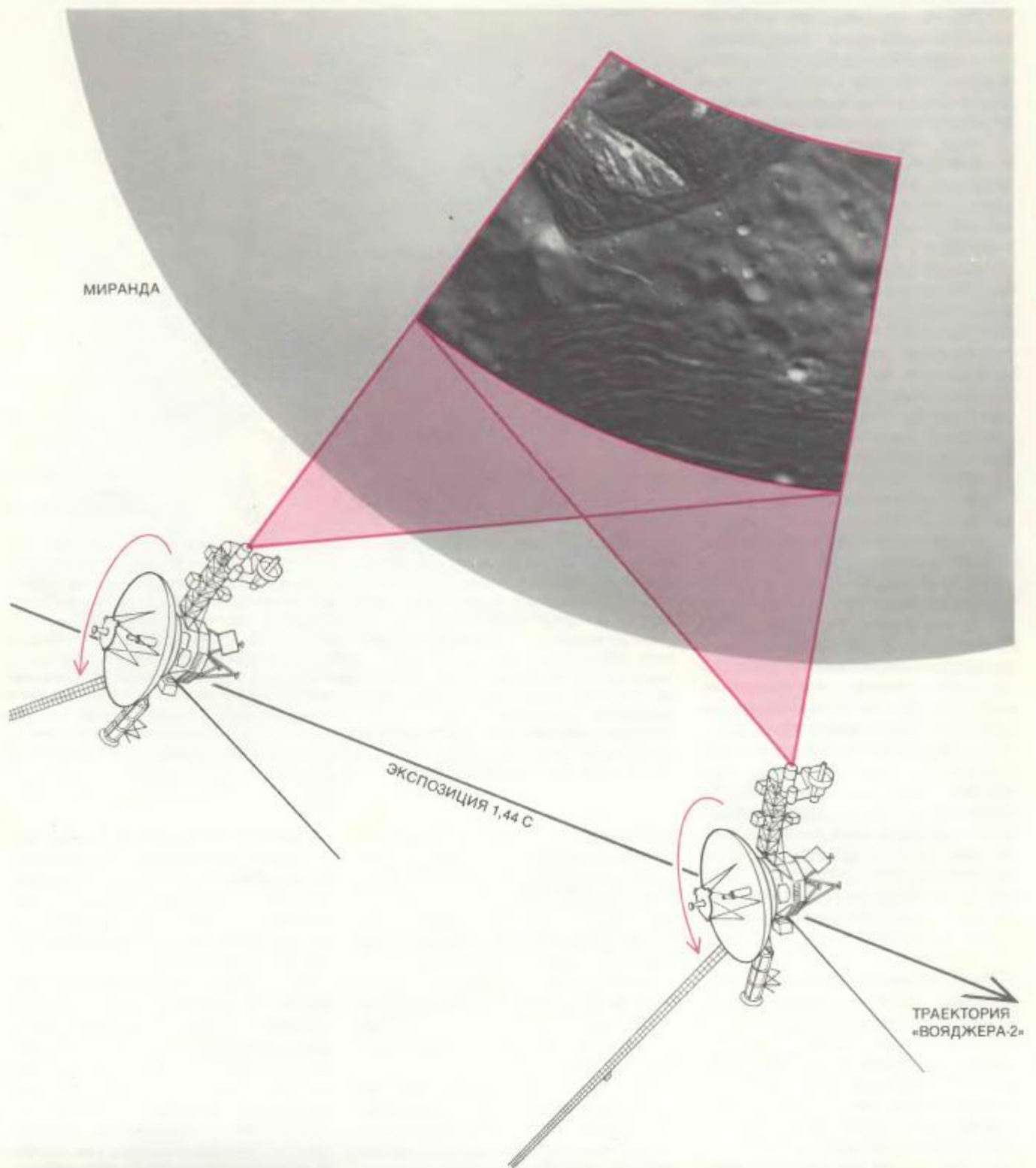
переключении в режим высокой скорости регистрирующего устройства, используемого для записи изображений в цифровой форме и других данных. Была изменена кодированная логика в компьютере управления бортовой системой, чтобы включать соответствующий верньерный двигатель на короткое время каждый раз, когда регистрирующее устройство включается в режим высокой скорости или выключается.

Для второго усовершенствования были необходимы более тонкие корректировки при использовании подсистемы аппарата. Два звездных датчика (один ориентированный на Солнце, а другой — на опорную звезду) дают сведения о реальном положении аппарата. Если аппарат сильно отклонен относительно заданного положения, то для его коррекции используется импульс, возникающий при коротком включении соответствующего верньерного двигателя, вызывающего поворот или вращение аппарата. Дрейф, подобный тому, который вызывается остаточными угловыми моментами от устройства магнитной

записи или остаточными моментами от воздействия солнечных фотонов в сеансе сближения с планетой, корректируется трехосной системой с точностью до $0,05^\circ$. Эту максимально достижимую точность называют зоной нечувствительности.

Несомненно, что размытость изображений снизится, если скорость дрейфа во время прохождения через зону нечувствительности будет меньше. Техническая группа проекта «Вояджер» проанализировала логику управления и нашла способ перепрограммировать компьютер управления положением аппарата так, чтобы снизить продолжительность импульса включения двигателей, когда аппарат достигает предела зоны нечувствительности. В результате уменьшится импульс верньерных двигателей и дрейф в системе ориентации становится более плавным.

Хотя в принципе это несложно, возникли практические трудности. Были проведены наземные испытания дублирующих двигателей для того, чтобы определить, насколько можно уменьшить уровень тяги и в то же вре-



ИЗОБРАЖЕНИЯ МИРАНДЫ — одного из спутников Урана получены с высоким разрешением; они относятся к лучшим изображениям, когда-либо сделанным при сближении космического аппарата с планетами. Из-за низкого уровня освещенности в окрестностях Урана для различных изображений были необходимы длительные экспозиции. Логика компьютера, управляющего включением верньерных двигателей, была изменена с целью минимизации случайных движений телекамеры, когда ее затвор был открыт, чтобы избежать размытости изображений. Наиболее важным моментом было точное включение верньерных двигателей, чтобы обеспечить плавное вращение аппарата и таким образом компенсировать относительное движение аппарата и цели. Во время съемки «Вояджер-2» двигался со скоростью 72 тыс. км в час на расстоянии 29 тыс. км от Миранды. Четкие изображения позволяют различить детали размерами до 0,5 км. Если бы не были приняты все необходимые меры, разрешение составило бы примерно 26 км, что сравнимо с разрешением снимка Миранды, показанном слева, и многие топографические характеристики спутника были бы невидимыми.

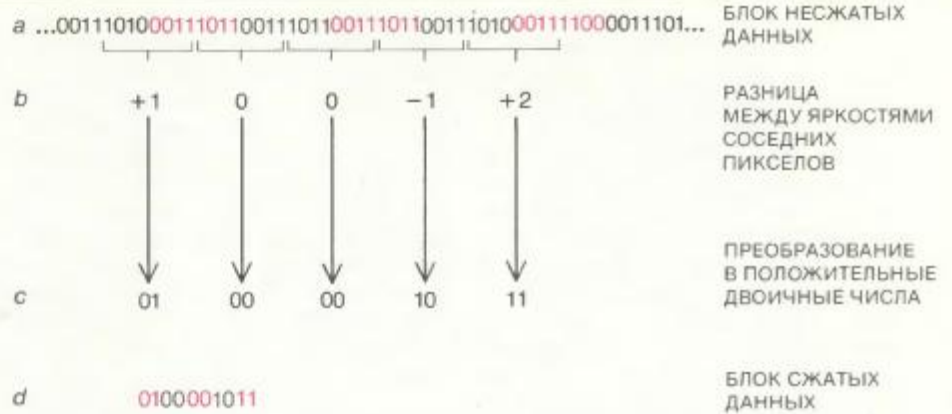
мя обеспечить надежный контроль за ориентацией аппарата. Оказалось, что приемлемо сокращение тяги вдвое. Дополнительные наземные испытания подтвердили, что режим уменьшенной тяги не повлечет за собой снижения времени жизни системы верньерных двигателей.

После того как логика алгоритма контроля была проверена на лабораторном имитаторе, следующим шагом было потенциальное уменьшение импульса тяги на «Вояджере-1», сопровождавшееся контролем результатов. Хотя в маршруте «Вояджера-1» в дальнейшем не предусмотрены встречи с планетами, его бортовое научное оборудование все еще дает ценные данные. Кроме того, он остается техническим средством, которое служит удобной лабораторией для отработки новых операций. Так как эти операции с «Вояджером-1» не вызвали никаких проблем, они были применены на «Вояджере-2».

Поскольку усовершенствования по стабилизации космического аппарата позволили значительно улучшить четкость изображений, полученных при пролете Урана, было намечено довольно близкое сближение «Вояджера-2» с пятью известными спутниками планеты. При этом нужно было учитывать еще один источник размытости изображения — относительное движение аппарата и спутников. Такая ситуация знакома каждому фотографу-любителю, который фотографирует с быстро движущегося транспорта: изображения предметов на переднем плане размыты, даже когда задний план остается вполне четким.

Метод, примененный на «Вояджере-2» был аналогичен тому, что опытные фотографы называют «панорамированием». Камера смещается при открытом затворе так, чтобы держать интересующий объект в поле зрения камеры в фиксированном положении.

Компенсация движения такого рода достигалась с помощью верньерных двигателей, поворачивающих весь аппарат с нужной скоростью во время экспозиции. Подобная коррекция движения, выполняемая только сканирующей платформой, на которой установлены телекамеры, была бы слишком грубой. Необходимые угловые скорости вращения вокруг трех осей были достигнуты путем «обмана» подсистемы пространственного положения: логике системы ориентации была дана команда скомпенсировать фиктивный дрейф в системе опорного сигнала. Нежелательным следствием этого процесса явилось то, что антенна космического аппарата была повернута в сторону от



СЖАТИЕ ДАННЫХ, кодирующих изображения, было применено во время встречи с Ураном, чтобы сократить число битов для передачи на наземные станции. Каждая строка изображения состоит из 800 пикселей (элементов изображения). Яркость каждого пиксела обозначается 8-разрядным двоичным числом. Вместо передачи на Землю уровня яркости каждого пиксела (как это делалось при встрече космического аппарата с Сатурном и Юпитером) передавалась только разница между уровнями яркости соседних пикселей. Упрощенный вариант этой операции показан на рисунке. Сначала все 800 пикселей в каждой строке делятся на 160 групп по 5 пикселей (а). Подсчитывается разница яркости между первым пикселем в группе и последним пикселем в предыдущей группе, а также разница яркости соседних пикселей внутри группы (b). Затем эти разности преобразуются в положительные двоичные числа (c). (В этом примере ограничиваются двумя разрядами.) Полученный блок сжатых данных передается на Землю. Он представляет собой последовательность из 5 двуразрядных чисел (d). В этом примере передаваемые данные представлены блоком в 10 бит, вместо 40 бит, которые потребовались бы для передачи без сжатия

Земли. Но временная потеря радиосвязи с аппаратом компенсировалась получением ценных изображений с высоким разрешением.

ПОДОБНО уровню освещенности, скорость передачи данных, т. е. объем цифровой информации, надежно получаемой за определенное время, обратно пропорциональна квадрату расстояния аппарата от Земли. Однако объем данных, которые ученые хотели бы получить, увеличивается с ростом расстояния. Путь решения этой дилеммы при полете «Вояджера-2» был найден в модификации программного обеспечения бортовых компьютеров и увеличении возможностей наземных приемных станций.

На «Вояджере-2» массивы данных кодируются до передачи таким образом, что ошибки могут быть замечены и исправлены на Земле. Простой пример такой схемы — когда к каждому биту, или числу двоичного кода (1 или 0), прибавляется пара его повторов. Иначе говоря, если бит данных составляет 1, передается число 111; соответственно вместо 0 передается 000.

Однако передача числа 111 не гарантирует того, что наземная станция тоже примет 111. Из-за неизбежного фонового шума при получении и обработке радиосигналов случайно единица может быть зарегистрирована как

ноль, или наоборот. Поэтому трехразрядные двоичные числа могут быть получены как восемь различных комбинаций единиц и нулей. Однако существует основное мажоритарное правило декодирования, согласно которому принимается то значение бита в переданном триplete, которое повторяется хотя бы один раз. Тогда вероятность того, что передаваемый бит будет интерпретирован ошибочно, значительно снижается по сравнению с передачей без кодирования и декодирования.

Хотя пример достаточно прост, он дает представление о кодах обнаружения и исправления ошибок: можно улучшить надежность получения данных, но только путем увеличения их избыточности. Однако на «Вояджере-2» любое увеличение общего числа битов, которые должны быть переданы, снижает скорость передачи, с которой посылаются научные данные.

В приведенном выше примере два кодированных бита составляют так называемый кодированный блок, а один бит — блок данных. Кодированный блок вдвое длиннее блока данных, что в результате утраивает нагрузку линии передачи. Реальная схема кодирования, использованная на «Вояджерах», была намного сложнее, чем в приведенном примере, а избыточность данных, к счастью, не настолько велика. Во время встреч с Юпитером и Сатурном использова-

лись специальные схемы кодирования — так называемое кодирование Голея. В результате кодированные блоки по длине были такими же, как и блоки данных. Для Урана была применена другая система кодирования (кодирование Рида—Соломона), при которой код блока составлял $\frac{1}{2}$ формата блока данных. Решение обратиться к коду Рида—Соломона было сопряжено с некоторым риском. Бортовое оборудование с применением этой системы работало в недублированном режиме, тогда как система Голея допускала дублирование.

Интересно отметить, что оборудование для кодирования Рида—Соломона было установлено на космиче-

ском аппарате для другой цели. «Вояджер» был первым космическим аппаратом, работающим на частоте 8,4 гигагерц (в так называемом диапазоне частот X) для передачи данных. Существовало опасение, что новый канал может работать не вполне удовлетворительно, и тогда возможности системы Рида—Соломона были бы важными в качестве дополнения к менее информативному диапазону частот S (2,3 ГГц), в котором «Вояджеры» тоже могут передавать данные.

ДРУГОЙ МЕРОЙ, еще более снизившей число битов, которое должно было передаваться с Урана на

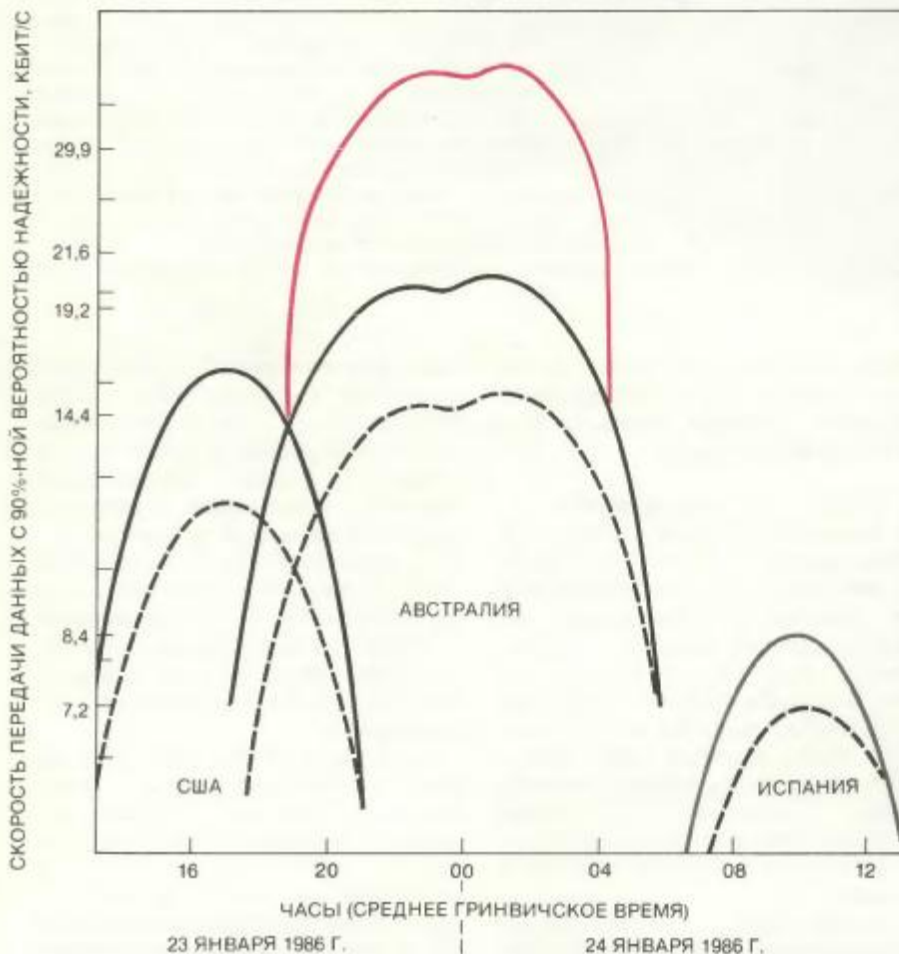
Землю, было «сжатие» данных, кодирующих изображения. Телекамеры «Вояджера-2» разложили изображение на матрицу из отдельных элементов (пикселей) так же, как фотографии в газетах разложены на мельчайшие точки. Космический аппарат передает на Землю двоичное число, соответствующее уровню яркости каждого элемента изображения.

Изображение, полученное с «Вояджера-2», состоит из 800 строк пикселей, каждая строка в свою очередь включает 800 пикселей: всего 640 000 элементов изображения. Каждый пиксел может воспроизводить 256 уровней яркости в диапазоне от черного до белого. Чтобы обеспечить такой диапазон уровней яркостей (всего 2^8 уровней) в двоичном коде, необходимо 8 битов. Таким образом, требуется 5 120 000 битов ($800 \times 800 \times 8$), чтобы передать одно изображение определенной яркости (без учета дополнительных битов для обнаружения и коррекции ошибок).

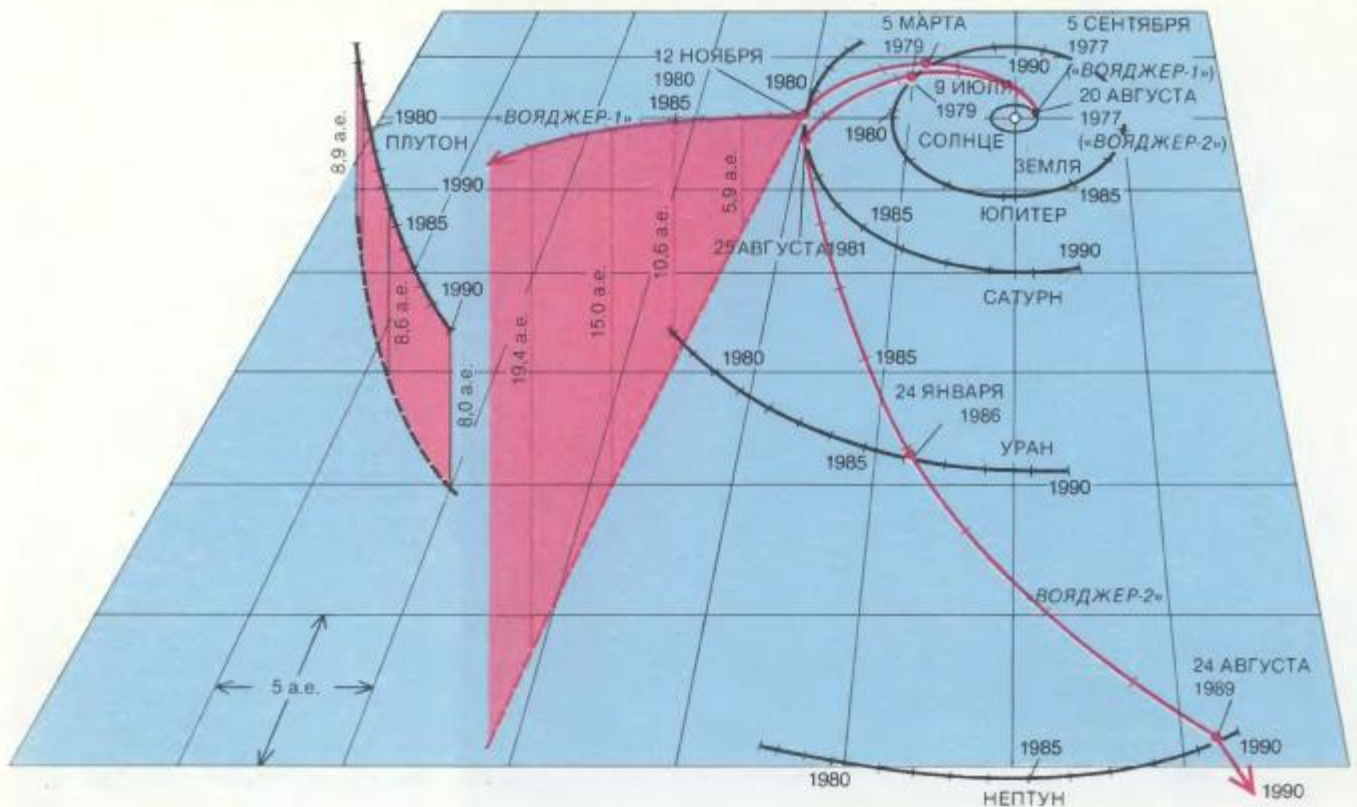
Число битов, необходимых для получения такого изображения, может быть сокращено вдвое благодаря тому, что смежные пиксели обычно имеют уровни яркости, близкие по значению. Это особенно справедливо для пикселей, которые не пересекают границ контура объекта. Если бы «Вояджер-2» мог передавать только изменение яркостных значений от пикселя к пикселу, а не абсолютное значение яркости для каждого элемента, то в среднем было бы достаточно 3 битов на пиксел вместо 8. (Абсолютная яркость первого пикселя в каждой строке должна передаваться как исходная точка.)

Фактически это было достигнуто. Чтобы перепрограммировать прибор на алгоритмы сжатия данных, пришлось «пожертвовать» дублирующей функцией второго компьютера ППД. Однако способ передачи изображения с использованием методов сжатия информации более чувствителен к ошибкам, поскольку каждое значение яркости пикселя (за исключением первого) зависит от значения яркости предыдущего пикселя. Таким образом, однобитовая ошибка может повлиять на всю строку сжатого изображения больше, чем единственный пиксел несжатого изображения. Поэтому для передачи почти 6000 полученных изображений Урана были использованы оба метода передачи со сжатием и без сжатия.

ПРИНЯТЬ все возможные меры по увеличению надежности передачи данных с космического аппарата не представлялось возможным. Поэтому на наземных станциях была улуч-



НАДЕЖНОСТЬ СВЯЗИ с «Вояджером-2» во время пролета Урана повышалась в результате комбинации сигналов, принимаемых сетью антенн. Надежность связи измеряется в терминах вероятности получения данных, относительно свободных от ошибок. Представленные кривые характеризуют 90%-ную вероятность получения достоверных данных с космического аппарата «Вояджер-2» в точке наибольшего сближения с Ураном. Использовались разные комбинации антенн, принадлежащих НАСА в США, Австралии и Испании, которые были объединены в комплекс дальней космической связи Deep Space Network: отдельная 64-метровая параболическая антенна (пунктирные кривые), 64-метровая антенна в комплексе с 34-метровой антенной (серая кривая) и 64-метровая антенна в комплексе с двумя 34-метровыми антеннами (черные кривые). Подключение 64-метрового радиотелескопа Паркса в Австралии (цветная кривая) позволило повысить скорость надежного приема информации до 29,9 кбит/с. Наилучший прием информации был в Австралии, так как Уран в это время находился в южной части неба.



НАВИГАЦИЯ «ВОЯДЖЕРА» включает непрерывное определение положения и скорости аппарата, расчет его попадания в цель в нужное время, а также возвращение на точный курс с помощью включения двигателей. Необходимо принимать во внимание и другие силы, действующие на космический аппарат, — главным образом гравитационные силы и влияние на него давления солнечного излучения. Положение и скорость космического аппарата определялись по радиометрическим и оптическим данным. Радиотелеметрические данные получены из анализа радиосигналов с аппарата. Оптические данные обеспечивали

телекамеры. Необходимые маневры для коррекции траектории рассчитывались наземными компьютерами. «Вояджер-1» пролетел над южным полюсом Сатурна и был отклонен его гравитационным полем, после чего оказался выше плоскости эклиптики (плоскость орбиты Земли). Сейчас «Вояджер-1» находится на расстоянии приблизительно 14 а.е. над этой плоскостью (1 а.е. равна расстоянию от Земли до Солнца, т. е. примерно 150 млн. км). «Вояджер-2» остается в плоскости эклиптики и должен пролететь над северным полюсом Нептуна 24 августа 1989 г. При пролете планеты он уйдет под плоскость эклиптики.

шена способность сбора информации путем комбинации сигналов, полученных несколькими антеннами на Земле (операция объединения антенн). Так, были объединены 64-метровая антенна и две 34-метровые антенны Наземной сети станций дальней космической связи НАСА и следящий комплекс в Австралии. В этот же комплекс был включен и 64-метровый радиотелескоп Паркеса, который был предоставлен австралийскими радиоастрономами. Надежная скорость приема данных была увеличена с 14,4 кбит/с для одиночной 64-метровой антенны до 29,9 кбит/с для комбинации антенн. При прохождении «Вояджером-2» Урана скорость приема данных была 21,6 кбит/с; скорость 29,9 кбит/с оставили в резерве для экстренных случаев.

Другой важной работой, которую обеспечивала Земля, было наведение космического аппарата. Мощные компьютеры наземного обеспечения производили расчет траектории на основе детально разработанных

небесно-механических моделей и статистических методов. Тем не менее межпланетная навигация все еще остается чем-то средним между наукой и искусством, и точный выбор во многом зависит от человека, а не от машины.

Существует два вида навигационных методов — радиотелеметрические и оптические. Из радиосигналов космического аппарата, принятых наземными антеннами, получают три параметра: доплеровский сдвиг частоты радиосигнала, возникающий из-за относительного движения передатчика и приемника; двойное время прохождения сигнала и угол между направлением радиолуча с космического аппарата и положением опорного радиосточника на небе. Эти три величины соответственно включают информацию о лучевой составляющей скорости космического аппарата, расстоянии до него и его угловых координатах на небесной сфере.

Оптические данные получают с помощью двух камер, установленных на

космическом аппарате «Вояджер-2». Оптическая навигация, которая впервые была испытана на аппаратах «Маринер» и «Викинг» при полетах к Марсу, была незаменима в программе «Вояджер». Оптические методы в отличие от радиотелеметрических позволяют определить положение космического аппарата относительно исследуемых объектов (в случае с «Вояджером-2» — Урана и его спутников), а не относительно Земли. Оптический метод позволяет определить орбиты естественных спутников (на которых нет радиоприемников) так же, как и орбиту космического аппарата. Все это особенно важно, когда необходимо направить приборы на ближайший спутник, особенно если его масса и орбита неизвестны с достаточной точностью. Использование радиотелеметрического и оптического методов в комплексе позволило определить положение «Вояджера-2» с точностью до 23 км на расстоянии более 3 млрд. км от Земли. Такая точность, для достижения которой было



приложено много усилий, была даже выше требуемой для наведения камер при пролете Миранды (одного из спутников Урана).

В декабре 1985 г. возникли трудности с соотношением навигационных данных с динамической моделью траектории полета. Только внеся достаточно большие изменения в оценку массы Урана (она была увеличена на 0,3%), удалось добиться необходимого совпадения расчетной и наблюдаемой траекторий, и дальнейшая навигация протекала гладко. Выяснилось, что по программам определения орбит была неверно вычислена масса Урана, поэтому пришлось внести изменения.

РЕСУРСЫ космического аппарата «Вояджер-2» к моменту пролета Урана были на исходе, поэтому отказы некоторых подсистем не явились неожиданностью. Когда выходило из строя какое-либо устройство, неисправность локализовалась и предпринимались усилия по восстановлению его работоспособности, или в крайнем случае делались попытки обойтись без него, что было испытанием профессионального уровня специалистов группы проекта.

Наиболее серьезная проблема встала перед технической группой полета в 1978 г. На пути следования от Земли к Юпитеру вышел из строя основной радиоприемник «Вояджера-2». Для надежности космический аппарат был оснащен дублирующим приемником, однако это устройство было также повреждено. Полоса пропускания (диапазон частот, в котором сигналы могут быть приняты) сузилась до величины, составляющей менее тысячной доли ее первоначального значения. Причиной сужения диапазона частот дублирующего приемника явилось повреждение одного конденсатора.

Для того чтобы команды в узкой полосе частот были приняты дублирующим приемником, технической группе приходилось тщательно учитывать каждый фактор, который мог бы изменить частоту принимаемых

УРАН предстал бы взору путешественника на «Вояджере-2» как бледный зеленовато-голубой шар (вверху). Снимок является комбинацией изображений, полученных при разной спектральной чувствительности. Увеличивая разницу яркостей составляющих изображений, можно выявить атмосферные детали, не видимые невооруженным глазом (изображение в условных цветах — внизу). Кольца на изображениях вызваны пылью в оптической системе камеры.

радиосигналов. Наиболее очевидным был доплеровский сдвиг частоты радиосигналов, вызываемый вращением Земли и движением космического аппарата. Вращение Земли может сдвинуть частоту сигнала, передаваемого на космический аппарат, на величину, более чем в 30 раз превышающую полосу поврежденного приемника.

Наиболее трудно оценить влияние температуры космического аппарата на частотные характеристики приемника. Изменение температуры смещает центр полосы. Например, изменение температуры приемника всего лишь на 0,25 °C приводит к смещению центра полосы почти на 100 Гц. Поэтому любой процесс, приводящий к выделению или потере тепла на аппарате, должен тщательно учитываться. Это относится, например, к повороту космического аппарата и переключению электрических нагрузок.

Влияние таких процессов на полосу пропускания приемника постоянно контролировалось частыми измерениями температуры на борту и прямым поиском наилучшей частоты связи. Несмотря на накопленный многолетний опыт работы с «Вояджером-2» и разработку методов передач команд, поддержание радиосвязи с ним все еще может прерываться на несколько дней из-за значительных отклонений температурного режима.

СРАЗУ ЖЕ после наибольшего сближения с Сатурном в 1981 г. «Вояджер-2» получил механическое повреждение. Заклинило силовой привод, обеспечивающий азимутальное движение сканирующей платформы. Из-за этого не была получена часть научных данных о Сатурне, но техническую группу проекта больше беспокоило то, что платформа не сможет работать при будущих пролетах Урана и Нептуна. Для выявления причин неполадок и разработки плана их ликвидации были проведены испытания на Земле и на обоих «Вояджерах».

В Лаборатории реактивного движения (JPL) были изготовлены и испытаны 86 макетов силового привода для определения положения бортового привода и нахождения факторов, которые могли также привести к его заклиниванию (таких, как температура, скорость движения привода и приложенный момент). На имитаторе привода космического аппарата были также получены ценные статистические данные.

По результатам инженерных проработок и статистического анализа были сделаны три заключения. Во-первых, при малой скорости движения платформы силовой привод, ве-



КОЛЬЦО ЭПСИЛОН УРАНА — самое внешнее из многих колец, образующихся вокруг планеты, — имеет неравномерное распределение массы и непостоянную радиальную ширину. Четыре «среза» кольца, показанные здесь, восстановлены по данным поляриметра на «Вояджере-2». Красноватые области — фрагменты кольца, содержащие меньше вещества, а желтые области — фрагменты, содержащие больше вещества. То, что ширина кольца изменяется, видно из различий в длине каждого среза, хотя пара «срезов» слева отличается масштабом от пары «срезов» справа. Самые мелкие детали — около 270 м в поперечнике. Цветная схема позволяет лучше видеть мелкомасштабные структуры; она не отражает реальный цвет кольца, его истинный цвет — серый.

роятно, сможет функционировать при пролете Урана (вследствие большой научной значимости эксперимента были разрешены четыре поворота платформы со средней скоростью). Во-вторых, для защиты системы наблюдений при наибольшем сближении с Ураном должна быть разработана аварийная программа, готовая для передачи на борт «Вояджера-2», если появятся признаки заклинивания силового привода. Это заменило бы движение азимутального силового привода на менее точные и более сложные вращения космического аппарата (с использованием верньерного двигателя). В-третьих, состояние силового привода следует проверять, периодически уменьшая приложенный момент.

Научная группа проекта «Вояджер» выполнила все рекомендации, и, когда «Вояджер» приблизился к Урану,

силового привода функционировал безукоризненно; аварийная команда для компьютера не посылалась на аппарат. Есть все основания ожидать, что эта система будет функционировать нормально и при пролете Нептуна.

ЗА ШЕСТЬ ДНЕЙ до наибольшего сближения с Ураном возникла новая проблема: фотографии, полученные с «Вояджера-2», имели большие искажения из черных и белых линий. Так как странные искажения появлялись только на «сжатых» изображениях, вероятно, причиной этого были средства математического обеспечения наземных компьютеров, с помощью которых изображения декодировались. В последнее время средства математического обеспечения были обновлены, и, возможно, были допущены некоторые случайные ошибки. Техническая группа взя-

ла на себя утомительный труд по декодированию отобранных линий изображений вручную, но были получены те же перепутанные черные и белые линии. Оставалось предположить только, что неполадки были на самом аппарате.

На следующий день на космический аппарат были посланы команды передать содержимое памяти компьютера ППД с программой сжатия изображений. Полученный массив данных сравнили побитно с тем, что должно было находиться в памяти бортового компьютера. При этом обнаружили, что один бит в слове одной из команд вместо нуля оказался единицей. Некорректность можно было объяснить двояко: либо бит в ячейке памяти перешел из 0 в 1 под воздействием космических лучей (тогда он легко мог быть сброшен в 0), либо в блоке памяти бортового компьютера имелась стабильная неисправность.

Программисты лаборатории получили задание написать программу, обходящую неисправный участок блока памяти компьютера. Такая корректирующая программа была введена в компьютер космического аппарата вечером 20 января, за четыре дня до наибольшего сближения. На следующее утро передача «сжатых» изображений прошла без ошибок. Несмотря на то что корректирующая программа выполнила свои функции, в дополнение на космические аппарат была послана команда, восстанавливающая правильное значение бита. Однако восстановить его не удалось, и неисправность стали учитывать постоянно.

МЕРОЙ УСПЕХА всех усилий научной группы проекта «Вояджер» могут служить данные, полученные при встрече аппарата с планетой Уран. Повышение надежности космического аппарата вместе с применением сжатых данных и изменения в их кодировании способствовало обнаружению новых объектов системой телекамер и фотополяриметром, что привело к открытию 10 новых спутников Урана и нескольких новых колец.

Точные навигация и маневр компенсации движения космического аппарата позволили получить изображения Миранды, которые можно поставить в ряд лучших снимков, когда-либо полученных с помощью пролетных аппаратов при сближении с планетами. Выполнение операций по регулированию энергозатрат во время радиозахода аппарата позволило провести наблюдения без помех; была получена детальная информация о структуре атмосферы Урана, включая сведения

о ее температуре и химическом составе. Неожиданностью был тот факт, что температуры на полюсах и экваторе почти одинаковы. Во время затмения была удачно проведена съемка системы колец на просвет (с 96-секундной экспозицией), позволившая открыть сложную пылевую структуру внутри системы колец. Магнитометры аппарата обнаружили магнитное поле Урана, которое наклонено на 60° относительно оси вращения. Так как Уран вращается с периодом 17,25 ч (факт, полученный на основе данных с «Вояджера»), вся магнитосфера периодически перемещается.

Если не произойдет выход из строя жизненно важных систем космического аппарата, можно ожидать получение ценных научных данных при прохождении «Вояджером-2» планеты Нептун с 5 июня по 2 октября 1989 г. — 12 лет спустя после запуска. Планируется пролет аппарата над северным полюсом Нептуна на высоте нескольких тысяч километров над верхней границей его облаков, что будет наибольшим сближением космического аппарата «Вояджер» с каким-либо небесным телом. В последующем аппарат окажется южнее эклиптики (плоскости орбиты Земли) и, возможно, со временем достигнет границы гелиопаузы. Положение гелиопаузы не было надежно определено дистанционными методами, поэтому, когда и где она будет пересечена одним из аппаратов «Вояджер», неизвестно.

Гелиопауза может находиться на расстоянии от 50 до 100 а.е. от Солнца (1 а.е. — астрономическая единица — равна среднему расстоянию от Земли до Солнца, около 150 млн. км). Если гелиопауза находится вблизи нижнего предела, то научные приборы на борту «Вояджеров» смогут подтвердить это в середине 90-х годов, когда оба аппарата будут находиться на расстоянии 50 а.е. от Солнца.

ЕСЛИ ДАЖЕ в осуществлении проекта «Вояджер» не произойдет ничего фатального, израсходование невозможных ресурсов космических аппаратов обязательно приведет к завершению эксперимента. Скорость расходования наиболее очевидных ресурсов — топлива (для двигателей ориентации) — зависит от других элементов проекта. Судя по количеству израсходованного на сегодняшний день топлива, можно предположить, что на обоих аппаратах гидразина будет достаточно для их существования до 2030 г. Запас электроэнергии — более жесткое ограничение. Предполагается, что выходная мощность источника питания снизится до предельного уровня (245 Вт) к 2013 г.

Ниже этого порогового уровня ни один научный эксперимент не может быть обеспечен. Еще одна из возможных причин прекращения программы «Вояджер» — чувствительность солнечного датчика ориентации. Величина потока солнечного излучения может упасть ниже порога его чувствительности еще до того, как источник питания выйдет из строя. С помощью этого датчика контролируется направление антенны на Землю, и без него «Вояджер» потеряет связь с Землей.

При поддержке работы космических аппаратов с помощью систем наземного обеспечения «Вояджер», созданные специалистами НАСА, вероятно, будут давать научную информацию и в следующем столетии. Беспрецедентный успех этой программы — свидетельство высокой квалификации, мастерства и решительности группы управления полетом «Вояджеров».

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.



SCIENTIFIC
AMERICAN

НОЯБРЬ 1936 г. Р. Литтлтон попытался разрешить одну из загадок космологии: он предложил гипотезу образования планет, которая свободна от безнадежных динамических трудностей, свойственных прежним теориям. Если первоначально вокруг Солнца вращалась одна звезда — примерно на таком же расстоянии, на каком сейчас находится Уран или Нептун, — а вторая звезда, проходя мимо, столкнулась с этой звездой-спутником или прошла достаточно близко от нее, то вполне вероятно, что обе звезды, двигаясь в космосе в разных направлениях, могли оставить в поле гравитационного притяжения Солнца ступки вещества, которое затем сконденсировалось в планеты.

Недавно было объявлено о том, что свыше 3000 человек только в одних США постоянно носят контактные линзы. Тонкие незаметные линзы, подгоняемые под форму глазного яблока, превратились теперь из научных диковинок в новый заменитель очков. Хотя идея контактных линз известна уже более 100 лет, в течение последних двух лет были значительно усовершенствованы тонкие технологические операции при изготовлении этих линз. Основным достижением стала отработка метода шлифовки внутренней поверхности линзы с целью придать ей форму плавно искривленной поверхности для плотного контакта с глазным яблоком.

Сооружение Альберт-канала в Бельгии, который должен связать большой порт в Антверпене с промышленным центром Бельгии Льежем, — это грандиозная задача, над решением которой трудятся инженеры и строительные организации. По плану строительство должно завершиться в следующем году, а общие затраты составят 80 млн. долл. Потенциальные выгоды от сооружения канала должны с лихвой компенсировать затраченные на это средства.

Пришло время сохранить сведения о нашей жизни для будущих поколений — считают сотрудники Университета Оглеторна в Атланте и редакция журнала "Scientific American", чтобы сделать доступными для другой цивилизации (которую сейчас трудно представить и которая будет

существовать в далеком будущем) текущую историю жизни современного общества. Они предлагают собрать исчерпывающие материалы, которые представляли бы нашу жизнь и деятельность, спрятать их в надежном месте и сохранять в соответствии с рекомендациями выдающихся ученых. В Университете Оглеторна выбрали для этой цели идеальное место — фундамент здания, в котором сейчас размещены университетская библиотека и вспомогательные службы.

SCIENTIFIC AMERICAN

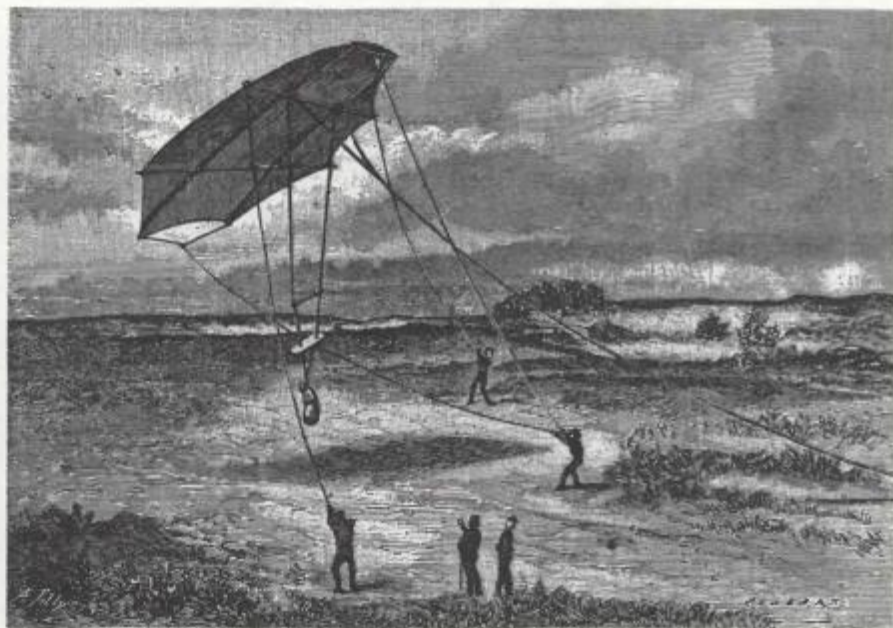
НОЯБРЬ 1886 г. 28 октября статуя Свободы была официально передана народу Соединенных Штатов. Публичные церемонии, связанные с этим событием, составили одно из самых ярких зрелищ этого дня. Они включали большую манифестацию, морской парад и выступления президента Кливленда и сенатора графа Фернана де Лессепа (на французском языке).

В сообщении д-ра Францеля из Берлина утверждается, что влияние умеренного курения на сердце проявля-

ется в быстрой нерегулярной пульсации сердца, расстройстве в области сердца, одышке, апатии, бессоннице и т. д. Как правило, мужчины курят сильно ароматизированные сигары, импортируемые из Гаваны. Странно, но те, кто употребляет обычные сигары, реже страдают указанными расстройствами. Что касается чрезмерного пристрастия к сигаретам, то его связь с описанными расстройствами пока не отмечалась, хотя оно является причиной некоторых других жалоб.

Создание небольшого двигателя, который мог бы работать за счет горения нефти, — задача, которая привлекает внимание наших известных изобретателей. Насущная потребность в небольших двигателях не вызывает сомнений. Почти неограниченные запасы нефти и ее низкая цена заставляют изобретателей простых дешевых двигателей обратиться к нефти как к возможному горючему.

В течение долгого времени «воздушный змей» оставался лишь забавной игрушкой, но теперь он начинает служить механикам, которые нашли его подходящим средством для проверки ряда формул, описывающих сопротивление воздуха. Такие аэродинамические эксперименты вносят вклад в решение сложной проблемы полета.



Аэродинамические испытания с большим воздушным змеем

Исследование Земли с помощью интерферометрии со сверхдлинной базой

По радиосигналам, принимаемым от удаленных на миллиарды световых лет квазаров, можно измерять колебания Земли, изменения скорости ее вращения и дрейф материковых плит

УИЛЬЯМ Е. КАРТЕР, ДУГЛАС С. РОБЕРТСОН

ТО, О ЧЕМ мы собираемся рассказать в этой статье, на первый взгляд может показаться фантастичным: тщательные наблюдения за слабыми радиосигналами, излучаемыми квазарами, т. е. квазизвездными объектами, расположенными на краю Вселенной в известных ее пределах на расстояниях в миллиарды световых лет, могут дать важные сведения о строении Земли. Тем не менее не только мы, но и другие специалисты в области геодезической астрономии в течение последнего десятилетия занимаются именно этим, используя метод, получивший название интерферометрии со сверхдлинной базой (ИСДБ).

При этом методе радиотелескопы, разнесенные на сотни и даже тысячи километров, одновременно следят за одним и тем же источником радиоизлучения. В радиоастрономии этот метод используется для получения изображений источника излучения с четкостью, которая обеспечивалась бы одиночной антенной размером с материк. В то же время геодезические астрономы извлекают из этих данных иную информацию. В частности, мы производим измерения малых изменений длины и ориентации базовых линий между радиотелескопами, что позволяет обнаруживать колебания земной коры и мантии с амплитудой в несколько сантиметров относительно оси вращения Земли или изменения ориентации оси вращения Земли в пространстве на несколько дуговых миллисекунд; таким же образом измеряется изменение длительности суток на величину около одной миллисекунды, вызванное ускорением или замедлением вращения Земли.

Значимость этих измерений заключается в том, что они помогают теоретикам создавать более совершенные модели внутреннего строения Земли и движения ее литосферных плит. По существу все, что сейчас из-

вестно о внутреннем строении Земли, получено из результатов косвенных измерений; самые глубокие скважины пробурены в земной коре на глубину не более 15 км. В настоящее время наиболее широкоизвестным источником геофизической информации является сейсмология, но исторически геодезическая астрономия сравнима по важности с сейсмологией. Размеры Земли, ее эллиптичность, тот факт, что она вращается не с постоянной скоростью и что ее мантия и кора колеблются относительно оси вращения, а также что ось вращения совершает прецессию и нутации в пространстве, — все эти сведения получены в результате наблюдения за Солнцем и звездами в течение столетий, и они сыграли большую роль в формировании современного представления о строении Земли.

В последние десятилетия, однако, дальнейшее развитие геодезической астрономии практически прекратилось. Методы оптических наблюдений, основанные на использовании видимых звезд для построения системы отсчета, натолкнулись на два фундаментальных ограничения. Во-первых, непредсказуемость преломляющего эффекта в атмосфере ограничивает точность определения положения звезды величиной в доли угловой секунды. Во-вторых, видимые звезды обладают собственным движением, т. е. во время наблюдения их положение в поле зрения наблюдателя меня-

ется. Различные звезды движутся в различных направлениях и с неодинаковыми скоростями. Измерение положения точки на земной поверхности по положениям видимых звезд аналогично попытке определить положение одного судна по положениям множества других судов, движущихся беспорядочно. Сделать это было бы легче, если бы вместо перемещающихся судов в качестве системы отсчета мы выбрали несколько неподвижных маяков на берегу.

В геодезических исследованиях квазары как раз и служат такими маяками. Радиосигналы, используемые в методе ИСДБ, испытывают значительное меньшее преломление в атмосфере, и положение квазара может быть определено с точностью до долей угловой миллисекунды. В то же время квазары настолько удалены, что даже этот метод не позволяет обнаружить их собственное движение. Таким образом, квазары являются наилучшим из имеющихся объектов для построения неподвижной системы отсчета. Такая система к тому же и весьма удобна; квазары распределены по всему небу и, поскольку их сигналы беспрепятственно проходят через облака, наблюдения можно вести в любую погоду и в любое время суток.

ИСДБ позволяет фиксировать изменение относительных положений точек на земной поверхности величиной 1 см. Тем самым колебания Зем-

РАДИОТЕЛЕСКОП обсерватории ВМС США в Ричмонде (шт. Флорида) — один из тех, которые предназначены для обнаружения слабых сигналов от квазаров. Зеркало антенны имеет диаметр 17 м; панели, из которых оно состоит, точно подогнаны по форме и размерам, так что они образуют почти идеальный параболаид. Приходящие радиоволны отражаются от зеркала и фокусируются на приемнике, установленном на четырех штангах в основном фокусе параболаида. При использовании метода интерферометрии со сверхдлинной базой (ИСДБ) наблюдения за одними и теми же квазарами ведутся одновременно несколькими телескопами, разнесенными на тысячи километров, и измеряются базовые линии между телескопами.

ли, прецессии и нутации ее оси и изменения скорости ее вращения с помощью ИСДБ могут измеряться с недостижимой ранее точностью. Важно и то, что ИСДБ обеспечивает чувствительность, достаточную для измерения еще одной переменной — медленного перемещения литосферных плит Земли, чего раньше сделать не удавалось. Именно столкновения этих плит привели к возникновению горных цепей, а при раздвигании образовались океаны. Ранее об этом движении можно было только догадываться по данным геологических

исследований, теперь же мы приступаем к его непосредственному измерению; так, например, мы наблюдаем удлинение базовых линий между радиотелескопами в Европе и Северной Америке приблизительно на 1 см в год, что происходит за счет раздвигания континентов и уширения Атлантического океана. Таким образом с помощью ИСДБ мы можем наблюдать за геологическими процессами.

СРЕДИ ученых, первыми распознававших потенциальные возможности приложения метода ИСДБ к

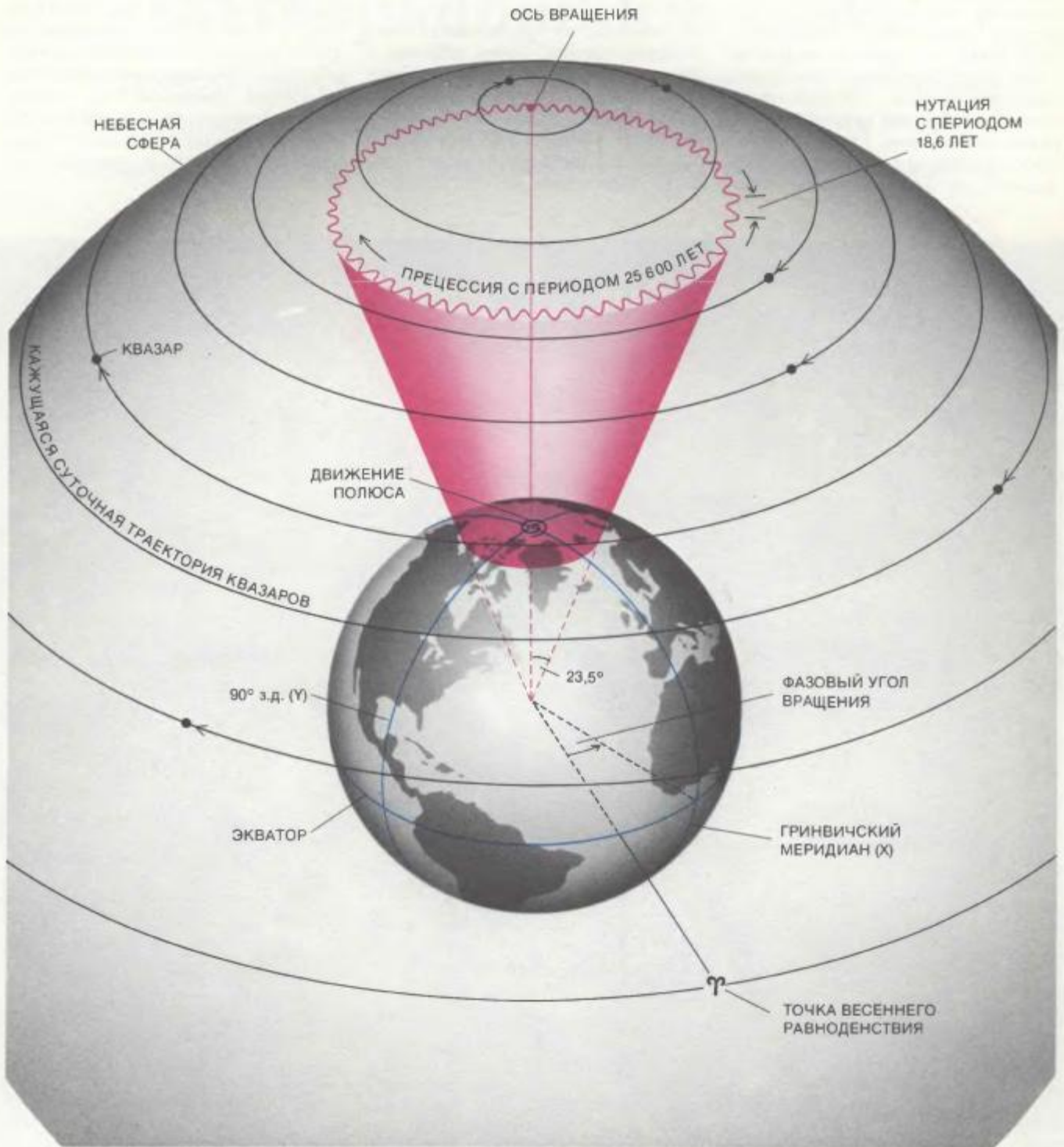
геофизическим исследованиям, были И. Шапиро, Э. Роджерс и их коллеги из Массачусетского технологического института и Годдардовского центра управления космическими полетами НАСА. На основании результатов их ранних исследований Национальный геодезический центр предпринял в 1977 г. разработку комплекса из трех обсерваторий исключительно для геодезических измерений по методу ИСДБ. Вскоре к этому проекту, получившему название «Поларис», подключились НАСА и обсерватория ВМС США.



Первая станция проекта «Поларис», расположенная вблизи Форт-Дейвиса (шт. Техас), на которой работают сотрудники Гарвардского университета, вошла в строй в сентябре

1980 г. и немедленно начала регулярные сеансы наблюдения совместно с космической обсерваторией Онсала в Швеции и обсерваторией Хайстек Массачусетского технологического

института. В июне следующего года в комплексе Хайстек (Вестфорд, шт. Массачусетс) начал работать специальный телескоп проекта «Поларис». Третья станция «Поларис» вошла в



ФЛУКТУАЦИИ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ЗЕМЛИ могут быть выявлены с помощью наблюдений квазаров по методу ИСДБ. Поскольку квазары удалены от Земли на несколько миллиардов световых лет, они обеспечивают практически постоянную систему отсчета. Прецессии и нутации — это изменения ориентации оси вращения Земли: прецессии характеризуются медленным движением оси вращения по образующей конуса с периодом 25 600 лет; нутации — это небольшие колебания земной оси (наибольший период которых составляет 18,6 года), налагающиеся на прецессии. В противоположность этому движение полюсов связано с

изменением оси вращения относительно поверхности планеты. Колебания мантии и земной коры относительно оси вращения приводят к тому, что полюс вычерчивает спиральный след на поверхности земного шара. ИСДБ позволяет также производить точные измерения всемирного времени, которое определяется по фазовому углу вращения Земли, т. е. углу между Гринвичским меридианом и большой окружностью, проходящей через точку весеннего равноденствия и Полюсы мира. Измерения всемирного времени позволяют выявить флуктуации скорости вращения Земли.

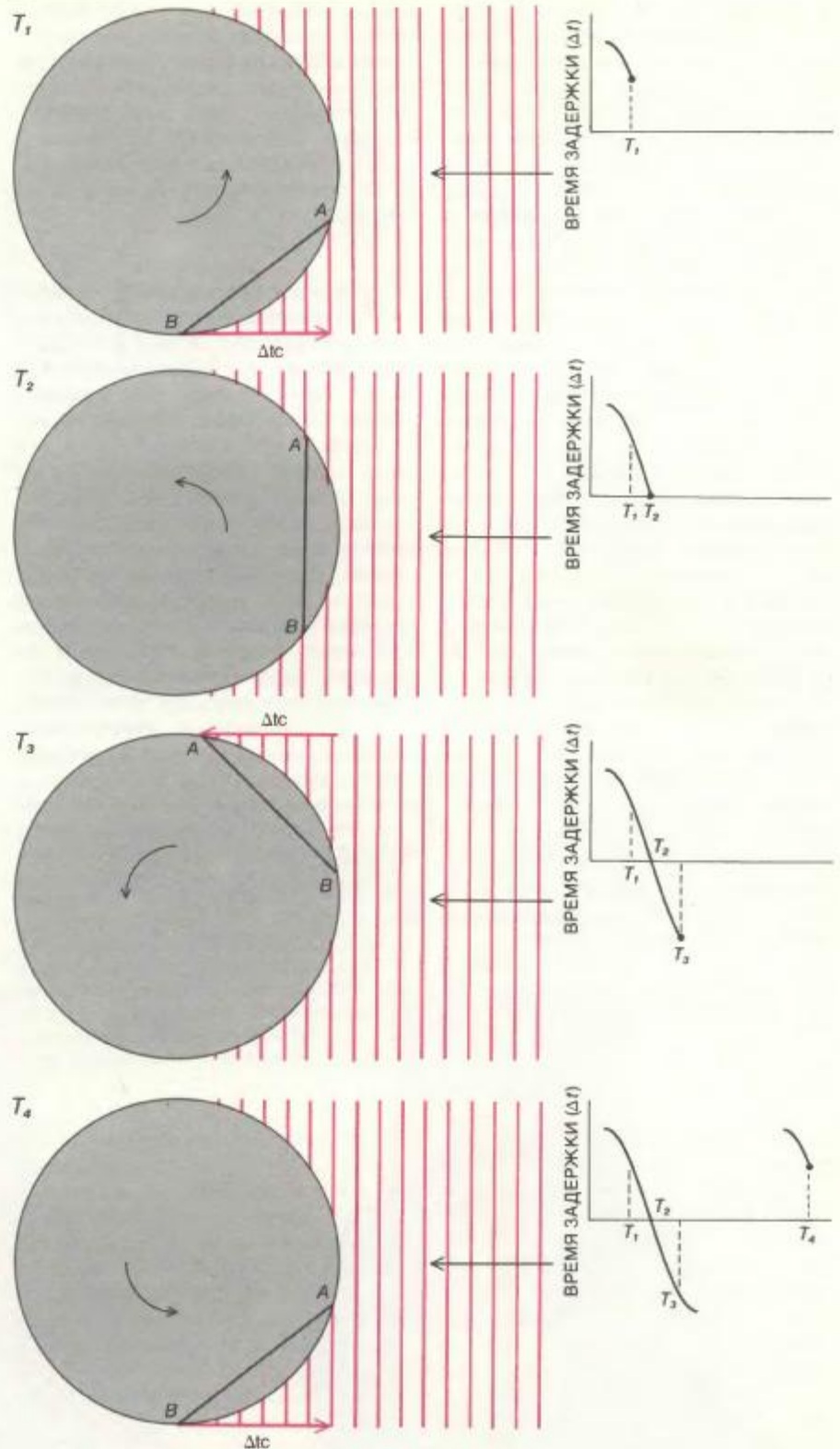
строй в январе 1984 г. в обсерватории ВМС США близ Майами (шт. Флорида). С тех пор эти три станции провели сотни сеансов совместно с другими обсерваториями США, Швеции, ФРГ, Японии и Южной Африки.

Во время каждого из этих сеансов не менее двух телескопов ведут наблюдения за одним и тем же квазаром. Принимаемые сигналы переводятся в цифровую форму и записываются на магнитную ленту вместе с «метками», обозначающими момент приема по местному времени, задаваемому атомными часами. Поскольку время прихода сигнала в каждой обсерватории регистрируется независимо, отпадает необходимость в прямых линиях связи между обсерваториями. Все обсерватории переправляют магнитные ленты в корреляционный центр, где воспроизводятся записи и сравниваются данные каждой пары обсерваторий.

Хотя квазары и являются высокоэнергетическими объектами (что именно представляют собой квазары, пока является предметом споров), принимаемые на Земле сигналы от них имеют очень малую мощность, и поэтому большинство записанных на магнитную ленту двоичных разрядов есть не что иное, как шумы приемника либо других естественных или искусственных источников радиоизлучений. Тем не менее из этих шумов удается выделить полезный сигнал. Это достигается сравнением данных, зафиксированных различными телескопами: у различных телескопов шумы различны, в то время как полезный сигнал одинаков на всех телескопах.

Сигналы поступают на Землю в виде волн с плоскими фронтами. По соотношению данных от двух телескопов можно определить задержку во времени прихода определенного фронта на один телескоп относительно момента прихода этого фронта на другой телескоп (см. рисунок справа). Величина задержки является мерой вектора базовой линии, т. е. прямой линии, проходящей через толщу земного шара и соединяющей два телескопа. Более строго, величина задержки пропорциональна составляющей вектора базовой линии, совпадающей с осью, соединяющей Землю и квазар. Для полного пространственного описания вектора в принципе достаточно измерить время задержки сигналов от трех квазаров, направления на которые в пространстве зададут три взаимно перпендикулярные оси.

На практике обычно производится множественные измерения излучений приблизительно 14 квазаров одновременно с нескольких телескопов. Од-



НАБЛЮДЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ИСДБ позволяют определить задержку во времени прихода сигнала от квазара к различным телескопам. В приведенной здесь упрощенной схеме два телескопа расположены на экваторе. Поскольку Земля вращается, задержка Δt изменяется по синусоидальному закону. В момент времени T_1 сигнал поступает на телескоп А, в момент времени T_2 сигнал поступает одновременно на оба телескопа, и в момент времени T_3 сигнал поступает на телескоп В. К моменту времени T_4 Земля совершила один полный оборот и величина задержки стала такой же, как и в момент времени T_1 . Таким образом, интервал времени от T_1 до T_4 составляет точно одни сутки; с помощью ИСДБ длительность суток можно измерить с точностью до 0,1 мс. Амплитуда колебаний времени задержки пропорциональна длине базовой линии АВ.

ной из причин, побуждающей проводить измерения именно по такому принципу, является наличие некоторых, хотя и малых ошибок в ходе атомных часов. Величины этих ошибок неизвестны в начале сеанса наблюдения, как неизвестны и точные положения квазаров. Путем проведения множества измерений и оценки их результатов по методу наименьших квадратов (математический метод, обеспечивающий наиболее точную оценку неизвестных величин по результатам измерений, содержащим случайные ошибки) можно с достаточной точностью определить эти параметры и одновременно измерить длины и ориентации базовых линий между обсерваториями. При этом единственным ограничением, накладываемым на измерение базовой линии, является требование одновременной «видимости» одних и тех же квазаров с этих обсерваторий. Теоретически возможно измерение базовой линии длиной, почти равной диаметру Земли (более 12 000 км); на практике, однако, максимальная измеренная длина базовой линии составляет около 10 000 км.

На сегодняшний день накоплены данные измерений по методу ИСДБ более чем за 5 лет; точность этих измерений лежит в пределах нескольких сантиметров. Важно иметь в виду,

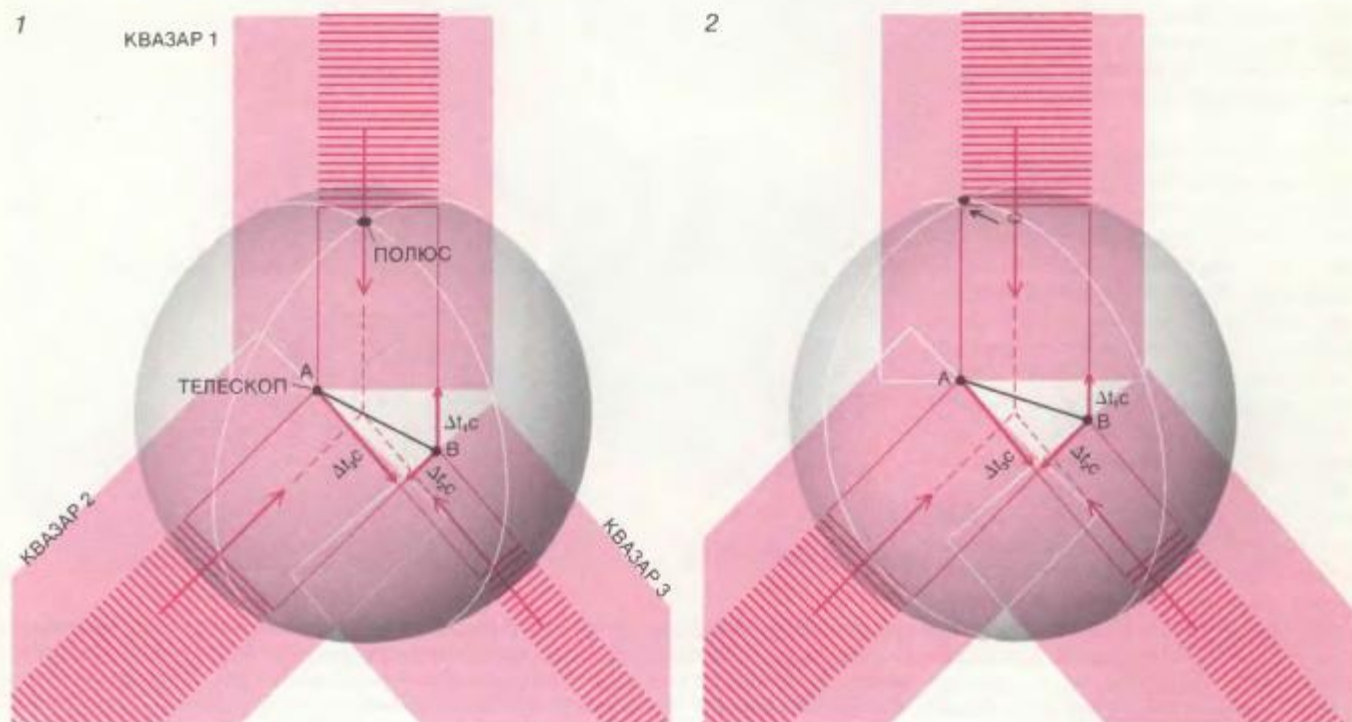
однако, что 5 лет — это короткий отрезок на шкале времени изучаемых геофизических явлений. Поэтому проводимые ниже результаты следует рассматривать лишь как предварительные, и предназначены они в первую очередь для иллюстрации огромных потенциальных возможностей ИСДБ.

ЭТА последняя оговорка особенно справедлива по отношению к одной из старейших загадок в геофизике, а именно к колебаниям мантии и коры относительно оси вращения Земли. Еще в 1765 г. знаменитый математик Леонард Эйлер доказал, что если твердое тело вращается вокруг оси, не совпадающей с его осью симметрии, то оно совершает периодические колебания относительно оси вращения. Расчеты, проведенные в следующем веке, показали, что период колебаний Земли должен составлять примерно 305 суток. Если Земля совершает такие колебания, то астрономическая широта всех точек Земли, т. е. их положения относительно звездной системы отсчета, должна изменяться с таким же периодом.

Изменения широты были обнаружены в 1890 г. американским геодезистом и астрономом С. Чендлером, но оказались более сложными, чем

предсказывалось этой теорией. Было обнаружено, что измерения широты имеют две составляющие: одну с периодом 365 суток и амплитудой примерно 0,1 угловой секунды (на поверхности Земли это соответствует расстоянию около 3 м) и вторую с периодом примерно 430 суток (14 месяцев) и амплитудой 0,15 угловой секунды. Первую, 365-суточную составляющую легко объяснить вынужденным движением, связанным с сезонным перераспределением воздушных и водных масс; 430-суточная составляющая предположительно была принята за свободные колебания, предсказанные в теории Эйлера, хотя ее период и отличался значительно от теоретической величины 305 суток. Вскоре американский астроном С. Ньюком объяснил это расхождение тем, что Земля ведет себя не как абсолютно твердое тело, и если учесть упругость мантии и наличие океанов, то расчетный период колебаний оказывается близким к наблюдаемому периоду 430 суток.

Колебания с периодом 430 суток получили название колебаний Чендлера. Вместе с вынужденными годовыми колебаниями они известны также как «полюсное движение», поскольку колебания мантии и коры относительно вращения приводят к тому, что полюс на земной поверхности вычерчи-



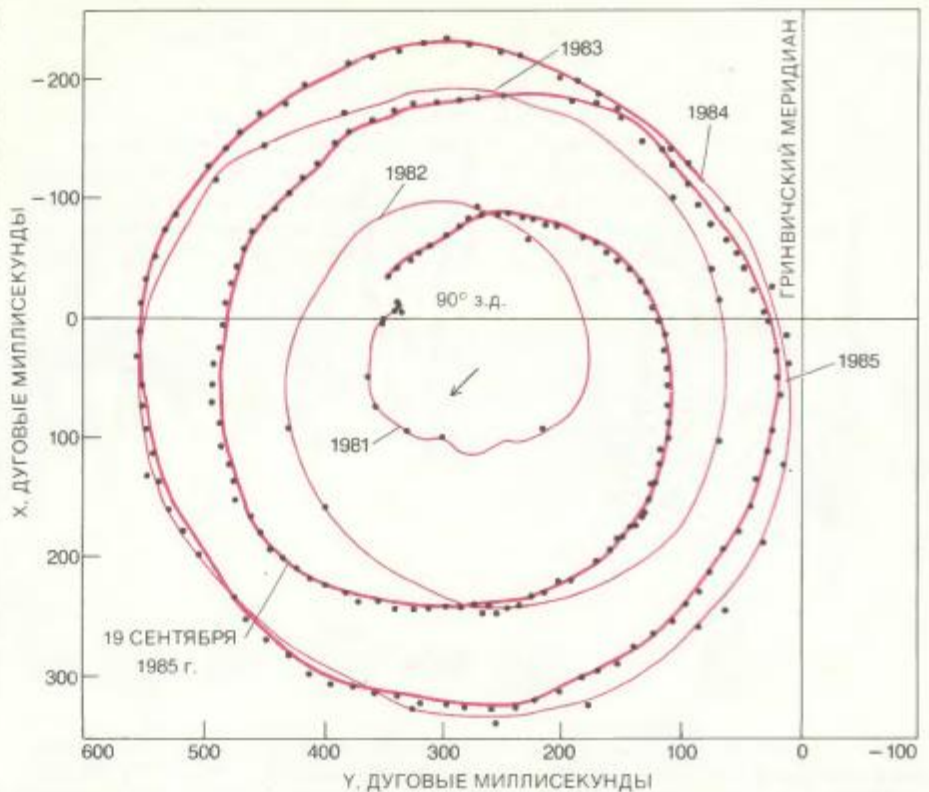
ДЛИНА И ОРИЕНТАЦИЯ вектора базовой линии между двумя телескопами в принципе может быть задана в пространственных координатах путем одновременного наблюдения за тремя квазарами. Для определения составляющей вектора вдоль направления на данный квазар (1) вре-

мя задержки сигнала от каждого квазара умножается на скорость света (скорость распространения сигнала). Колебания земной оси (нутаии) или ее мантии и коры (движение полюсов) относительно неподвижных квазаров приводят к изменению ориентации базовой линии (2).

вает спиральную кривую. (Полосное движение не следует смешивать с нутациями, которые представляют собой изменения ориентации оси вращения в пространстве.) В течение 87 лет за этими колебаниями ведутся наблюдения глобальной сетью обсерваторий, измеряющих с помощью оптико-механических приборов вызываемые этими колебаниями изменения астрономической широты.

Эти измерения подтвердили факт постоянства колебаний Чендлера, но не дали ответа на основной вопрос: что именно поддерживает эти колебания. Они сходны с колебаниями маятника, и так же, как маятник часов останавливается, если энергия, затрачиваемая на преодоление трения, не восполняется за счет энергии опускающихся гирь, колебания Чендлера должны затухать при отсутствии постоянного пополнения энергии. Ось симметрии при этом должна постепенно стремиться к совпадению с осью вращения, и когда это произойдет, колебания должны прекратиться. И наоборот, любое значительное смещение массы на поверхности или внутри Земли должно привести к возбуждению колебаний за счет смещения оси симметрии. Землетрясения, смещающие массу мантии, могут служить возбуждающим фактором, так же как и смена направлений воздушных потоков и океанических течений, вызывающих существенные смещения масс воздуха и воды. Некоторые исследователи считают, что таяние снегов на таких обширных территориях, как Сибирь, также способно приводить к смещению массы, достаточному для возбуждения колебаний.

Трудно определить, какой из этих механизмов является основным, поскольку достоверно не известно обусловленное ими количество энергии, равно как и количество энергии, необходимое для поддержания колебаний. Можно надеяться, что этот вопрос удастся решить с помощью тщательной регистрации положения полюса и сопоставления измерений его движения, например, с теми, которые вызываются крупными землетрясениями или изменениями направления движения воздушных масс. Оптические измерения движения полюса связаны со столь значительными ошибками наблюдений, что они сравнимы с величиной перемещения полюса, ожидаемой в результате действия различных механизмов возбуждения. За счет этого практически исключается возможность выделения главного действующего фактора (т. е. нельзя строго утверждать о наличии наблюдаемого движения, если его амплитуда менее 1 м или его длительность ме-



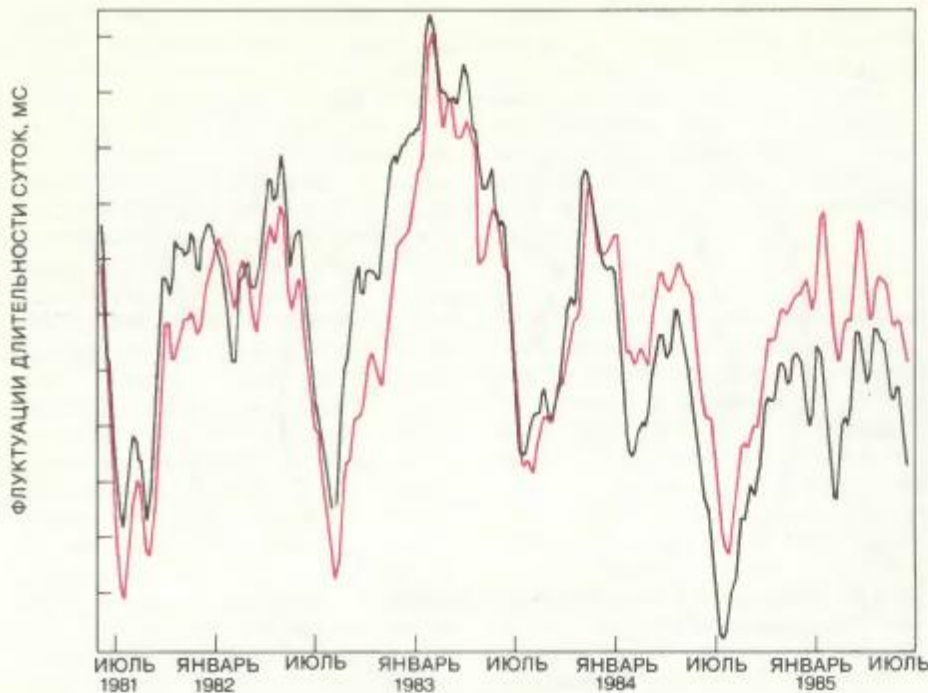
ДВИЖЕНИЕ ПОЛЮСА, измеренное с помощью ИСДБ в период с сентября 1980 по ноябрь 1985 г. В 1980 — 1981 гг. составляющие с периодом 365 и 430 суток были в противофазе и тем самым компенсировали друг друга, вследствие чего амплитуда движения была относительно невелика. По мере того как разность фаз между составляющими уменьшалась, амплитуда увеличивалась и достигла пикового значения в 1983 — 1984 гг. Землетрясение 19 сентября 1985 г. в Мексике не оказало заметного влияния на движение полюса. Полный цикл колебания, графически представленного раскручивающейся спиралью (тонкая линия) и закручивающейся спиралью (жирная линия), составляет примерно 6,5 — 7 лет. Кроме колебаний полюс совершает долговременный линейный дрейф. В начале текущего столетия центр колебания находился в начале координат графика и теперь смещается в направлении примерно 45° з.д. (показано стрелкой) со скоростью 3,7 дуговых миллсекунд в год. (Одна дуговая миллсекунда соответствует приблизительно 3 см на поверхности Земли.)

нее нескольких месяцев). В противоположность этому точность и разрешающая способность по времени, обеспечиваемые методом ИСДБ, примерно на порядок величины лучше, чем у оптических наблюдений; движение полюса регистрируется по изменению ориентации векторов базовых линий. Это позволяет определять положение полюса в любое время с точностью порядка 5 м.

ОДНАКО даже с помощью точных данных, полученных в результате измерений по методу ИСДБ, нелегко будет оценить относительное влияние различных конкурирующих механизмов возбуждения колебаний. Отдельное землетрясение, например, должно быть весьма мощным, чтобы отразиться на результатах измерений. (Так, землетрясение, имевшее место в сентябре 1985 г. в Мексике, мощностью 8,1 бала по шкале Рихтера, не оказало заметного влияния на

движение полюса, что видно из рисунка сверху.) В то же время суммарная энергия тысяч ежегодных землетрясений может вполне оказаться достаточной для поддержания колебаний. Для окончательного решения вопроса об источнике колебаний может потребоваться сравнение результатов многолетних наблюдений за движением полюса с данными о землетрясениях, воздушных потоках и других возможных механизмах возбуждения.

Пока что предварительные данные измерений по методу ИСДБ содержат один важный результат. Измерения с помощью оптических приборов, проведенные за период с 1899 по 1982 г., указывают на наличие векового (т. е. долговременного) дрейфа полюса наряду с колебаниями. Оценки скорости и направления этого векового дрейфа имеют весьма большой разброс; согласно одной оценке, дрейф полюса составляет примерно 3 угловые миллсекунды в год в направле-



ФЛУКТУАЦИИ длительности суток, измеренные с помощью ИСДБ (черная кривая), довольно точно соответствуют изменениям, рассчитанным по угловому моменту атмосферы (цветная кривая), что указывает на существенное влияние атмосферы на скорость вращения Земли. Изменения скорости вращения, обусловленные приливами, вызванными влиянием гравитационных полей Солнца и Луны, в расчетах исключались. Обмен угловыми моментами между атмосферой и земным шаром обуславливает до 90% всех сезонных изменений скорости вращения, не связанных с приливами; такой обмен оказывает сильное влияние и на кратковременные флуктуации. Наибольшее увеличение длительности суток в начале 1983 г. совпало с наступлением Эль-Ниньо. Это явление сопровождается изменениями интенсивности атмосферной циркуляции, которые связаны с изменениями углового момента вращения Земли.

нии 70° з.д. Некоторые исследователи, подозревающие наличие систематической ошибки в оптических измерениях, подвергают сомнению реальность векового движения. Данные измерений по методу ИСДБ, полученные за первые пять лет наблюдений, свидетельствуют о наличии этого движения, и по оценкам его скорость составляет 3,7 угловых миллисекунд в год в направлении 45° з.д.

Точные измерения векового движения полюса важны потому, что с их помощью можно установить причину этого движения, которая, как считается в настоящее время, заключается в значительном и долговременном смещении вещества в мантии. Хотя мантия реагирует на быстрые и относительно слабые возмущения, вызываемые землетрясениями, как упругое твердое тело, на более сильные и долговременные напряжения она реагирует как вязкая жидкость. Один из видов долговременных напряжений вызывается наступлением и отступлением ледников, которые во время ледниковых периодов покрывают большую часть Канады и Скандинавии. При наступлении ледников происходит опу-

скание земной коры, и значительные массы вещества в находящейся ниже мантии сжимаются в направлении к экватору. В периоды отступления ледников земная кора возвращается на прежнее место и материал мантии стекает обратно к северу. Согласно широко принятой теории, наблюдаемый в настоящее время поток к северу и вызывает наблюдаемое вековое движение полюса за счет смещения оси симметрии Земли.

Величина векового дрейфа определяется скоростью потока массы в мантии, а она в свою очередь определяется вязкостью мантии. Таким образом, вековой дрейф может использоваться для оценки коэффициента вязкости мантии, который играет исключительно важную роль в геофизических моделях, основанных на предположении, что плиты, задающие форму земной поверхности, считаются движущимися под действием конвекционного потока в мантии. Вязкость мантии чрезвычайно трудно измерить непосредственно, тем более что точных данных о составе, температуре и физическом состоянии мантии нет. Одной из наиболее широко

принятых оценок является оценка Пельтье и его коллег из Университета в Торонто. Их расчеты основаны на результатах оптических наблюдений векового движения. Если в моделях типа предлагаемой Пельтье использовать данные, полученные методом ИСДБ, точность оценки вязкости мантии должна улучшиться.

ОБСЕРВАТОРИИ, построенные в начале текущего столетия для контроля движения полюса, выявили еще одно важное геофизическое явление: изменения скорости вращения Земли. Всегда считалось, что скорость вращения Земли есть величина постоянная, солнечные сутки были приняты в качестве стандартной меры времени, а часы являлись просто механическими устройствами, отсчитывающими более мелкие части суток. К 30-м годам по мере усовершенствования часов выявилось, что скорость вращения Земли не всегда одинакова. Были выявлены годовые изменения длительности суток: январские дни на несколько миллисекунд длиннее июльских. Появление в 40—50-х годах текущего столетия кварцевых, а затем и атомных часов позволило установить наличие и других систематических изменений длительности суток, периодичность которых составляет 6 месяцев, один месяц и две недели. Частично эти изменения объясняются приливными явлениями, т. е. вызваны изменениями действующих на Землю сил гравитационного притяжения Солнца и Луны. Поскольку орбиты Земли и Луны хорошо известны, изменения длительности суток за счет приливных явлений легко предсказуемы и наибольшее изменение составляет несколько десятых миллисекунды.

Кроме приливных имеются менее предсказуемые изменения скорости вращения, и именно в исследовании этих изменений метод ИСДБ оказывается особенно результативным. Регистрация таких изменений не представляет особых трудностей. По мере вращения Земли задержка по времени в поступлении сигнала от квазара к радиотелескопам различных обсерваторий подчиняется синусоидальному закону (см. рисунок на с. 19); измерение длительности суток можно производить путем фиксирования времени между двумя моментами, когда задержка точно идентична. На практике реально измеряется всемирное время, задаваемое фазой угла вращения Земли в пространстве. Для определения ориентации Земли относительно квазаров и тем самым для измерения всемирного времени с точностью до 0,1 мс с помощью двух телескопов доста-

точек период наблюдения менее часа. Измерения приблизительно с суточными промежутками с последующим вычитанием результатов последовательных замеров позволяют рассчитать среднюю скорость вращения Земли и длительность суток.

Колебания скорости вращения нашей планеты за счет приливных явлений есть следствие изменений формы

Земли, которые в свою очередь вызваны изменениями сил гравитационного притяжения Солнца и Луны. Поскольку полный угловой момент вращения Земли (т. е. произведение момента инерции на угловую скорость) должен оставаться постоянным, то должны происходить соответствующие изменения угловой скорости планеты. В противополож-

ность этому изменению скорости вращения, не связанные с приливными явлениями, вызываются в основном перераспределением углового момента между отдельными составляющими массы Земли. Мантия и земная кора, которые, грубо говоря, вращаются синхронно и угловые скорости которых мы измеряем с помощью ИСДБ, могут обмениваться угловым момен-



ДВИЖЕНИЕ ПЛИТ изменяет длину базовой линии между радиотелескопами, расположенными на различных плитах. На карте Северного полушария показаны базовые линии, на основании измерений которых по методу ИСДБ получено достаточное количество данных, чтобы сделать надежную оценку скорости изменения их длины (в сантиметрах в год). Числа в скобках указывают величину смещения плит, рассчитанную по теоретической модели. Почти

во всех случаях расчетная и измеренные величины очень близки. Исключение составляет базовая линия между Форт-Дейвисом (шт. Техас) и Вестфордом (шт. Массачусетс). Теоретически расстояние между точками, где размещены станции, не должно изменяться, поскольку они находятся на одной плите. Однако данные, полученные с помощью ИСДБ, указывают на то, что длина этой базовой линии уменьшается.

том с атмосферой, океаном или ядром Земли. Вопрос, длительное время занимающий умы исследователей в этой области, заключается в том, какой из возможных обменов является доминирующим и определяет неприливно-е изменения скорости вращения.

ЕЩЕ в 1960 г. У. Манк, теперь работающий в Калифорнийском университете в Сан-Диего, и Г. Макдональд, в настоящее время сотрудник корпорации Mitre, указывали, что в сезонном масштабе времени неприливно-е колебания скорости Земли связаны с изменениями ветров в широтном направлении и как следствие — с передачей углового момента от земного шара к атмосфере или наоборот. Более чем через десятилетие К. Ламбек из Австралийского национального университета и А. Казенаве из Центра космических исследований в Тулузе, используя более полные метеорологические данные, показали справедливость этого утверждения. Другие неприливно-е изменения, период которых либо короче сезонных (от нескольких дней до нескольких недель), либо длиннее (несколько декал), еще нуждаются в объяснении. В то время большинство исследователей считало, что изменения с малым периодом являются следствием систематических ошибок астрономических наблюдений.

Производя анализ глобальных метеорологических данных на мощных ЭВМ и применяя результаты измерений, произведенных по методу ИСДБ, теперь можно более полно и тщательно проанализировать влияние атмосферы на вращение Земли. Р. Розен и Д. Салстейн из фирмы Atmospheric and Environmental Research, Inc. совместно с Национальным метеорологическим центром разработали программу, позволяющую рассчитывать изменения углового момента атмосферы в целом на каждый день. По величине этих изменений можно судить о скорости вращения Земли как твердого тела, предполагая постоянство полного углового момента. Установленные таким образом вариации затем можно сравнить с наблюдаемыми в течение суток.

Такое сравнение было произведено с использованием данных об изменении скорости Земли в течение суток, полученных по методу ИСДБ в период с июля 1981 по июль 1985 г. и отличающихся исключительной точностью (см. рисунок на с. 22). Результаты сравнения показывают, что более 90% сезонных изменений скорости вращения, не связанных с приливны-

ми явлениями, можно объяснить обменом углового момента между Землей и атмосферой. При увеличении скорости ветров в широтном направлении, усредненной по земному шару (в основном это субтропические воздушные потоки), скорость вращения Земли падает и сутки удлиняются; естественно, справедливо и обратное.

Ярким примером этого может служить известное климатическое явление под названием «Эль-Ниньо», наблюдавшееся последний раз в начале 1983 г. Во время Эль-Ниньо, которое повторяется неперіодически с промежутками 2 — 6 лет, пассатные ветры, дующие на запад, ослабевают; теплая поверхностная вода, обычно перемещаемая ветрами в западную часть Тихого океана, движется на восток и в результате температура поверхности воды у берегов Южной Америки повышается. Такие аномальные явления в океане и атмосфере связаны с глобальными изменениями направлений ветров и погоды. В момент максимального развития последнего Эль-Ниньо (в январе — феврале 1983 г.) угловой момент атмосферы также был максимальным. Передача углового момента от земной коры к атмосфере замедлила вращение Земли и удлинила сутки почти на 3 мс.

Наблюдения с помощью ИСДБ показали также, что неприливно-е изменения скорости вращения с периодом менее сезона (от нескольких суток до нескольких недель) — это не результат ошибок оптических измерений, а имеют место на самом деле. Эти колебания вызваны в основном обменом углового момента между земной корой и атмосферой. Действительно, атмосферные процессы являются основной причиной всех неприливно-е изменений, период которых не превышает 2 лет; океаны и ядро Земли, по видимому, мало влияют на такие изменения. Обмен моментом между земной корой и мантией давно выдвигался в качестве одной из гипотез при попытке объяснить изменения скорости вращения Земли с периодом в декаду и более; ответ на этот вопрос станет более ясным после накопления данных наблюдений по методу ИСДБ в течение нескольких десятилетий.

НЕКОТОРЫЕ сведения относительно характера взаимодействия земной коры и мантии уже сейчас можно получить из результатов измерений по методу ИСДБ другого природного явления — изменения ориентации оси вращения Земли в пространстве. Эти изменения в основном возбуждаются гравитационными полями Солнца и Луны, действующими на экваториальный выступ Зем-

ли. Экваториальная плоскость наклонена относительно плоскости орбиты Земли под углом $23,5^\circ$, и когда Солнце и Луна смещены с экваториальной плоскости, они оказывают на экваториальный выступ вращающее усилие, стремящееся сместить выступ в сторону эклиптики. Это вызывает прецессию оси вращения, которая совершает полный оборот каждые 25 600 лет. Угловой радиус вычерчиваемой в небе окружности равен наклону оси вращения, т. е. $23,5^\circ$. На эти прецессии наложены еще нутации, амплитуда которых не превышает 9 дуговых секунд, т. е. они примерно в 10 000 раз меньше амплитуды прецессий и период их меняется в пределах от 4,7 суток до 1 года и от 1 года до 18,6 лет.

Момент вращения, создаваемый гравитационными силами и возбуждающий нутации, хорошо изучен, но для предсказания поведения Земли в результате действия таких сил необходимо иметь модель внутреннего строения Земли. Оценка адекватности модели производится сравнением предсказанных нутаций с наблюдаемыми. Дж. Вар из Университета шт. Колорадо разработал такую модель, и Международный астрономический союз принял ее в качестве стандартной для расчета нутаций. Точность расчета нутаций по модели Вара превосходит точность оптических измерений, и поэтому ее справедливость может быть проверена только измерениями с помощью ИСДБ.

Анализируя данные, полученные методом ИСДБ, Т. Херринг, К. Гвинн и И. Шапиро из Гарвардско-Смитсоновского астрофизического центра выявили ошибку, приблизительно равную двум дуговым миллисекундам, в значении амплитуды годичных нутаций, определенной по модели Вара. По мнению исследователей, эта ошибка лучше всего объясняется, если предположить, что внешнее жидкое ядро, несколько более сплюснутое, чем принято Варом (ядро эллипсоидально; его экваториальный диаметр равен 6971 км, а полюсный диаметр — 6954 км).

Объяснение основано на том факте, что Земля имеет режим свободных нутаций, не вызванных воздействием гравитационных полей Солнца и Луны. Хотя эти так называемые нутации Земли со свободным ядром никогда не наблюдались, их существование подтверждается наличием у Земли эллипсоидального жидкого ядра. Поскольку ядро не связано жестко с мантией, ось его вращения не обязательно должна совпадать с осью сфероида, служащего границей раздела ядра и мантии. Если эти оси не совпадают, то ось вращения ядра будет

прецессировать вокруг оси этого сфероиды, и хотя величина углового момента ядра остается неизменной, направление вектора углового момента изменится. Поскольку полный угловой момент Земли должен сохраняться постоянным как по величине, так и по направлению, то мантия также должна совершать прецессии в том же направлении, что и ядро, но сдвинутые по фазе на 180° . Движение мантии, несущей земную кору, в принципе наблюдается в виде малых нутаций оси вращения Земли.

Более важно, что наличие режима свободных нутаций влияет на реакцию Земли, обусловленную силами, возбуждающими другие виды нутаций, включая годовые. Величина этого влияния зависит от периода свободных нутаций ядра, который, согласно модели Вара, должен составлять приблизительно 460 суток. Херринг и его коллеги показали, что если бы этот период был на 30 суток ближе к периоду годовой возбуждающей силы, то реакция Земли на эту силу изменилась бы ровно настолько, что ошибки в 2 мс в годовых нутациях не существовало бы. В свою очередь период свободных нутаций ядра сильно зависит от эллиптичности границы раздела между ядром и мантией. Упомянутая группа исследователей из Гарварда рассчитала, что уплотнение ядра всего на 0,5 км по сравнению с принятым в модели Вара снижает этот период с 460 до 430 суток.

Такое тонкое уточнение необходимо, поскольку форма ядра является определяющим параметром в моделях строения Земли; аномальное уплотнение может быть вызвано теми же конвекционными процессами в мантии, которые приводят в движение литосферные плиты земной поверхности. Внесение уточнения оказалось возможным благодаря исключительно высокой точности, обеспечиваемой методом ИСДБ, позволяющим контролировать нутации с точностью лучше одной дуговой миллисекунды. Учитывая ограниченность наших знаний о земном ядре и его взаимодействии с мантией, измерения с помощью ИСДБ являются ценным источником информации.

В ОТЛИЧИЕ от этого мы располагаем большим количеством информации о поверхности Земли и плитах, движение которых определяет топографию Земли. Относительные перемещения плит составляют несколько сантиметров в год и обычно считаются известными с точностью до сантиметра или даже меньше. Некоторые исследователи, в частности Т. Джордан из Массачусетского тех-

нологического института и Дж. Минстер из фирмы Science Horizons, Inc. в Энцинитасе (шт. Калифорния), разработали математические модели, предсказывающие на основании геологических данных скорости движения различных плит. Однако в этих моделях приняты некоторые упрощающие предположения, например что плиты перемещаются с постоянной скоростью и представляют собой твердое тело (т. е. в пределах плиты перемещение отсутствует). Правильность этих предположений будет проверена экспериментально путем непосредственных замеров длин базовых линий с помощью ИСДБ.

Основная масса данных, накопленных на сегодняшний день, получена в результате наблюдений с помощью радиотелескопов системы «Полярис» и работающих совместно с ними европейских обсерваторий. Имеющаяся информация говорит о том, что единственная граница раздела между литосферными плитами, поддающаяся исследованию с помощью ИСДБ, является Срединно-Атлантический хребет, от которого расходятся в разные стороны Северо-Американская и Евразийская плиты, и что в образовавшуюся щель поступает горячая магма из мантии, образуя новую океаническую кору. Относительные перемещения вдоль базовых линий, пересекающих эту границу раздела, согласно расчетам, должны составлять менее 2 см в год. Результаты измерения базовых линий между Вестфордом (шт. Массачусетс) и телескопами в Онсала (Швеция) и Ветцеле (ФРГ) согласуются с теоретическими предсказаниями: длины базовых линий увеличиваются со скоростью от 1 до 2 см в год.

В то же время в длинах базовых линий наблюдаются случайные флуктуации примерно такой же величины, и поэтому этих данных недостаточно для утверждения, что измерено именно реальное движение материковых плит. К счастью, данные этих измерений подтверждаются серией наблюдений, проводимых сетью станций, расположенных на Северо-Американской, Тихоокеанской и Евразийской плитах; эти наблюдения производятся одновременно Р. Коутсом, Т. Кларком и их коллегами из НАСА. Считается, что скорость перемещения этих плит перпендикулярно границам между ними значительно больше, чем на Срединно-Атлантическом хребте. Данные, полученные в результате измерений, проведенных исследователями НАСА, существенно не отличаются от предсказанных. Представляется, что метод ИСДБ действительно способен фиксировать

движение литосферных плит.

Накопив немалое количество данных после многих сеансов наблюдений и убедившись в точности проведенных измерений, можно сказать, что полученные результаты окажутся весьма ценными для проверки существующей теории движения литосферных плит. Кажется, что один из предварительных выводов, сделанных на основании полученных нами данных, уже опровергает одно из важных допущений, сделанных в теории. Наблюдения, произведенные обсерваториями, входящими в систему «Полярис», указывают на то, что базовая линия между Вестфордом и Форт-Дейвисом (шт. Техас) сокращается примерно на 1 см в год. Теоретически длина базовой линии между двумя станциями должна оставаться неизменной, поскольку обе станции расположены на одной и той же плите, которая предполагается жесткой. Но все же имеются некоторые сомнения в отношении реальности наблюдаемого сокращения; возможно, это результат пока еще не выявленной систематической ошибки. Тем не менее из расчетов, сделанных С. Музманом из Национальной геодезической службы и Т. Шмиттом из Геологического управления шт. Джорджия, следует, что напряжение, возникающее вследствие сжатия земной коры, хорошо согласуется с частотой землетрясений, происходящих в восточной части США. По мере дальнейших наблюдений с помощью ИСДБ и накопления новых данных может оказаться, что тектоника плит на самом деле носит более сложный характер, чем принято считать.

Дж. Нарликар ГРАВИТАЦИЯ БЕЗ ФОРМУЛ

Перевод с английского

Научно-популярная книга видного индийского астрофизика посвящена общедоступному изложению современных представлений о гравитации — от первых попыток объяснений загадочной природы силы притяжения, действующей между любыми телами, до общей теории относительности Эйнштейна, связавшей тяготение с геометрическими свойствами пространства-времени.

Рассчитана на широкие круги читателей.

1985 г., 11 л. Цена 60 к.



РНК — фермент

Долгое время считалось, что катализаторами всех реакций в живой клетке служат только белки — ферменты.

Открытие того, что РНК может катализировать разрезание и сшивание самой себя, опровергает универсальность этого принципа, а также проливает свет на ранние этапы эволюции

ТОМАС Р. ЧЕК

МОЛЕКУЛЫ нуклеиновых кислот ДНК и РНК хранят в себе генетическую информацию, необходимую для существования и размножения живой клетки. Белки же выступают в роли действующего начала: молекулы белков-ферментов катализуют тысячи химических реакций, протекающих в клетке. Еще недавно такое «разделение труда» между информационными и действующими молекулами считалось одним из основополагающих принципов биохимии. Однако в последние несколько лет эта схема была пересмотрена в связи с открытием того, что РНК может выступать в качестве фермента.

Каталитическая активность РНК была открыта в 1981 — 1982 гг., когда мои коллеги и я изучали РНК из одноклеточного организма *Tetrahymena thermophila*, относящегося к типу простейших. К своему изумлению, мы обнаружили, что эта РНК может катализировать разрезание и сплайсинг самой себя, в результате чего из нее выщепляется небольшой фрагмент. Если забыть, что РНК не белок, РНК тетрахимены удовлетворяет классическому определению фермента. От «настоящих» ферментов она отличается только тем, что белки-ферменты катализуют реакции, протекающие между другими молекулами, в то время как эта РНК катализует собственные метаморфозы. Поэтому для ферментоподобных молекул РНК мы предложили термин «рибозим» (от англ. RIBOnucleic enZYME). А недавно нам удалось показать, что в несколько измененной форме та же РНК может сшивать не только саму себя, но и другие молекулы РНК и, стало быть, является ферментом в полном смысле слова.

Что же следует из этого неожиданного открытия? Во-первых, теперь уже нельзя так безоговорочно, как раньше, принимать утверждение, что в клетке за каждой каталитической

реакцией стоит белковый фермент. По нынешним представлениям, некоторые реакции, связанные с перестройкой молекул РНК, могут, по крайней мере частично, катализироваться РНК. Далее, известно, что в состав рибосом (клеточных органелл, на которых происходит синтез белка) входит по нескольку молекул РНК в дополнение к большому набору белков. Не исключено, что именно РНК, а не белки рибосомы ответственны за один из основных каталитических процессов в клетке — синтез белков. Открытие катализа РНК может, кроме того, иметь значение и для понимания эволюции. Так как нуклеиновые кислоты и белки взаимозависимы, долгое время считалось, что и возникнуть они должны были одновременно. Обнаружение того, что РНК служит не только носителем информации, но и ферментом, позволяет предположить, что в период зарождения жизни РНК могла существовать и функционировать без белков и без ДНК.

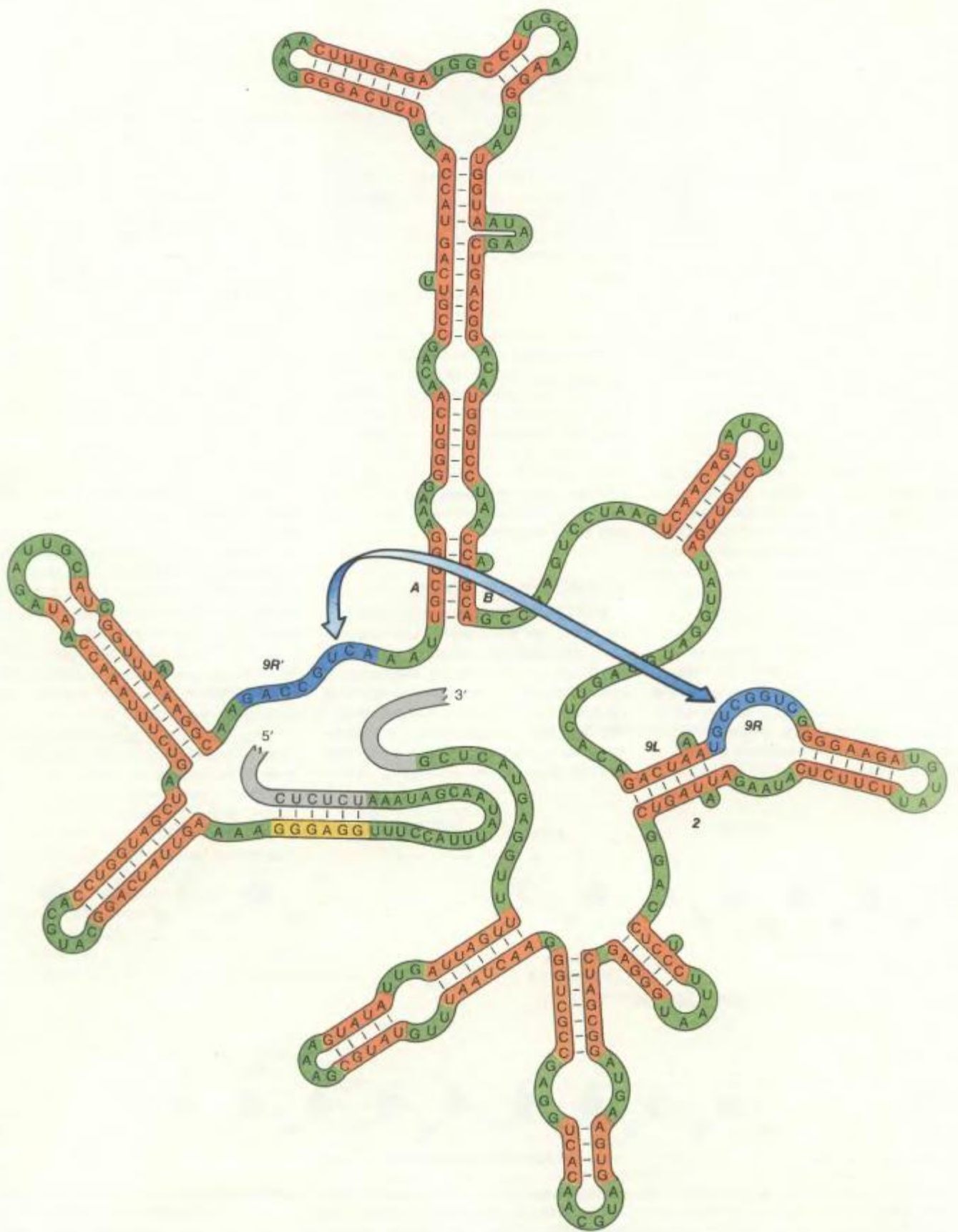
Требуется катализатор

Почему в биологических системах столь необходимы катализаторы? Потребность в них проистекает в ос-

новном из свойств химических соединений, составляющих живой организм. Молекулы, принимающие участие в клеточных процессах, обычно относительно стабильны и без воздействия извне неохотно вступают в химические реакции. Ферменты ускоряют эти реакции, так что они осуществляются за времена, соизмеримые со временем жизни клетки. Заметим, что с такой работой белки справляются превосходно. Обычно белковый фермент ускоряет катализируемую им реакцию в 10^6 — 10^{12} раз; причем белки являются истинными катализаторами: после завершения реакции белковый фермент остается в той же форме, в какой вступил в нее.

В общем-то понятно, почему представление о том, что любой фермент является белком, прочно утвердилось в умах ученых, изучающих клетку. За десятилетия, прошедшие после того, как в 1926 г. Дж. Самнер из Корнеллского университета впервые выделил в чистом виде фермент — уреазу, участвующую в расщеплении мочевины, сотни ферментов были получены в индивидуальном виде. И во всех случаях фермент оказывался белком — цепочкой аминокислот, свернутой в пространстве определенным обра-

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА рибосомной РНК простейшего организма *Tetrahymena* принципиально важна для каталитической активности этой молекулы. Она поддерживается, в частности, благодаря способности одноцепочечной РНК сворачиваться, образуя короткие двухцепочечные участки. РНК — это полимер, мономерами которого являются нуклеотиды четырех видов, обозначаемых А, Г, С и U. А с U, а также Г с С комплементарны, т. е. образуют устойчивую пару, соединяясь водородными связями (Г и U тоже могут спариваться, хотя в этом случае связь гораздо слабее). Если два фрагмента РНК содержат комплементарные последовательности нуклеотидов, то они могут соединиться и образовать двухцепочечный участок (*оранжевые*). Дальние взаимодействия, например между участками, обозначенными 9R и 9R' (*голубые*), приводят к формированию еще более сложной пространственной структуры. Эта структура способствует выщеплению из РНК тетрахимены определенного фрагмента, называемого интроном. Большая часть представленной здесь последовательности является интроном; из РНК, остающейся после выщепления интрона, показаны лишь маленькие участки, примыкающие к концам интрона (*серые*). Модели структуры были разработаны независимо в нескольких лабораториях, включая лабораторию автора, и результаты получились очень сходные.



зом. В ходе исследований ферментов многое стало известно об их действии. Было обнаружено, что каждый фермент катализирует только одну биохимическую реакцию или группу очень сходных реакций. Такая исключительная специфичность обеспечивается пространственной укладкой аминокислотной цепи, придающей белку трехмерную структуру, необходимую для участия в данном химическом взаимодействии.

В 30 — 40-е годы активно изучалась «ферментативная» сторона жизни клетки, а изучение информационного аспекта в то время сильно отставало. Первый успех в этой области пришел в 1944 г., когда О. Эйвери и его коллегам из Рокфеллеровского института медицинских исследований удалось показать, что ДНК способна передавать генетическую информацию. Следующим большим достижением было установление структуры ДНК (это сделали в 1953 г. Дж. Уотсон и Ф. Крик). Эти и многие другие исследования привели к пониманию того, что сейчас кажется уже непреложной истиной: генетическая информация закодирована в последовательности нуклеотидов двойной спирали ДНК. Каждая цепь двухцепочечной молекулы ДНК представляет собой полимер, образованный из мономеров четырех видов, обозначаемых А, Г, Т и С. Каждый мономер состоит из азотистого основания (которым может быть аденин [А], гуанин [Г], тимин [Т] либо цитозин [С]), остатка сахара и фосфатной группы (все вместе называется «нуклеотид»). РНК — такой же полимер, но одноцепочечный и вместо тимина содержит урацил (U).

Кроме того, остаток сахара в нуклеотидах ДНК представлен дезоксирибозой, а в РНК — рибозой.

Вскоре после того, как стали понятны структура и значение ДНК, выяснилось, что РНК выполняет ключевые функции в передаче генетической информации от ДНК к белку. Сначала последовательность нуклеотидов ДНК копируется, что осуществляется в процессе транскрипции; в результате этого синтезируется матричная РНК (мРНК), последовательность нуклеотидов которой соответствует исходной ДНК. Матричная РНК связывается с рибосомой, где на ней, как по программе, собирается молекула белка.

Передача генетической информации — только одна из функций РНК. В состав самой рибосомы также входят несколько молекул РНК (рРНК). Другие небольшие молекулы РНК, называемые транспортными (тРНК), участвуют в присоединении в нужном порядке аминокислот к растущей цепи белка. В конце 70-х годов роль мРНК, рРНК и тРНК была уже давно известна и казалось, что у РНК не осталось больше никаких тайн. Но это лишь казалось.

«Разорванные» гены

В 1977 г., к удивлению всего научного мира, да и к своему собственному, две группы исследователей — Ф. Шарп с коллегами в Массачусетском технологическом институте и группа сотрудников Колд-Спринг-Харборской лаборатории — открыли, что у высших организмов гены «разорваны». Они показали, что в

ДНК последовательность нуклеотидов, кодирующая белок, расположена не подряд, как полагали, а прерывается более или менее протяженными некодирующими последовательностями. Эти вставки были названы интронами, а разделенные значащие части — экзонами. Довольно скоро выяснилось, что после завершения транскрипции интроны вырезаются, а экзоны последовательно соединяются («сплайсируются»), образуя непрерывную кодирующую последовательность нуклеотидов*.

Открытие сплайсинга РНК взволновало ученых, помимо всего прочего, потому, что сплайсинг, как оказалось, характерен для эукариот, но не свойствен прокариотам, по меньшей мере хорошо изученной бактерии *Escherichia coli*. (К эукариотам относятся организмы, клетки которых имеют ядро, — от дрожжей до человека. Прокариоты — бактерии и некоторые водоросли — не имеют клеточного ядра.)

Появилась надежда, что изучение сплайсинга РНК прольет свет на колоссальные по сравнению с прокариотами эволюционные возможности эукариот, включая способность к специализации клеток и образованию многоклеточных организмов. Казалось, кроме того, вероятным, что при помощи сплайсинга РНК может регулироваться активность генов.

В конце 70-х годов регуляцию работы генов исследовали во многих лабораториях, в том числе в моск, где

* См. статьи Дж. Дарнелла-младшего «Процессинг РНК» и «РНК» («В мире науки», 1983, № 12, 1985, № 12).



ИНТРОН УДАЛЯЕТСЯ, а соседние экзоны соединяются в функциональную молекулу РНК. Каждый нуклеотид в цепи РНК состоит из остатка 5-углеродного сахара рибозы (пятиугольники), одного из четырех азотистых оснований — аденина (А), гуанина (Г), цитозина (С) или урацила (U) — и фосфатной группы (кружки). Соседние нуклеотиды соединены фосфодиэфирной связью между 5'-углерод-

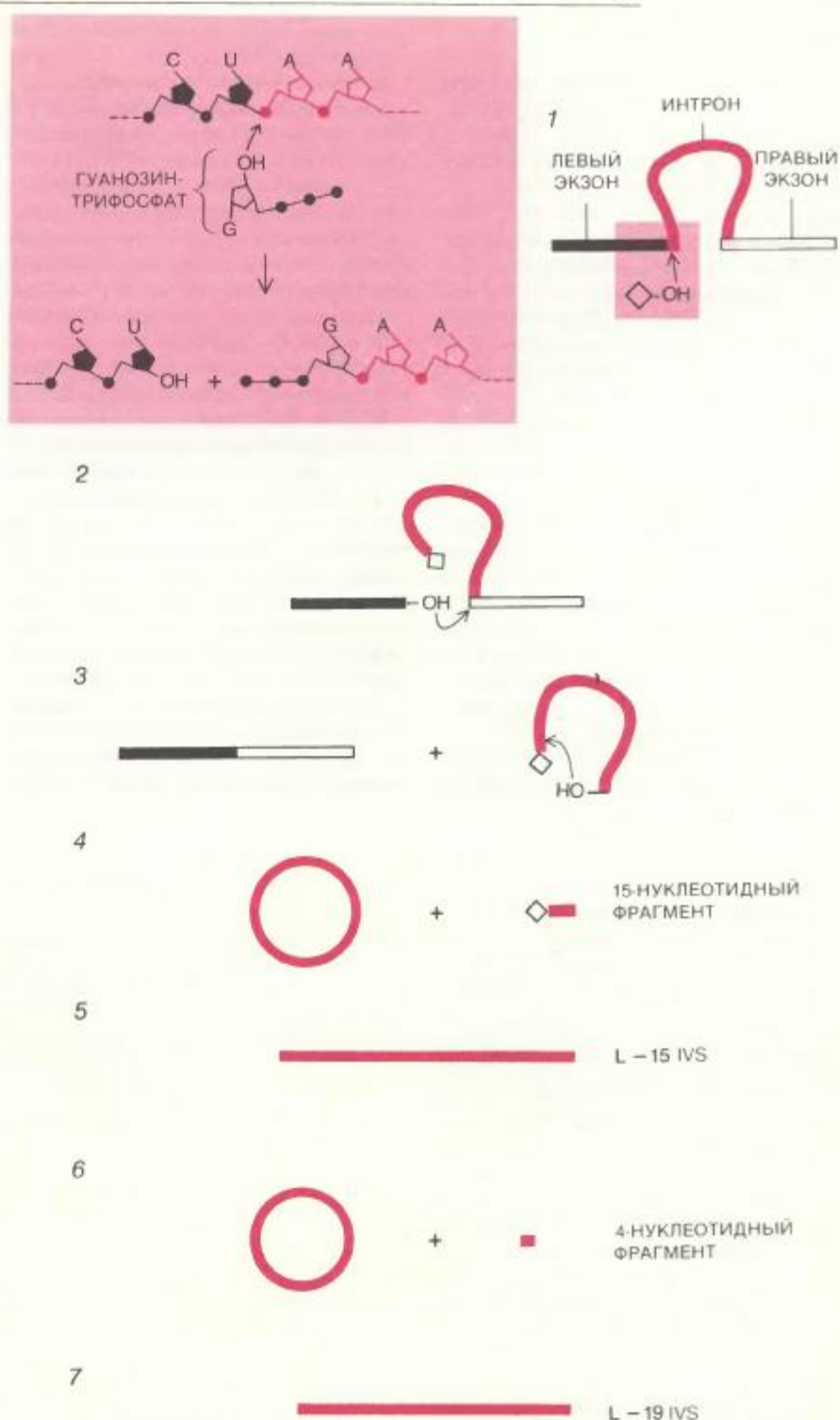
ным атомом одного остатка сахара и 3'-углеродным атомом другого. Таким образом, цепь РНК имеет направление; ее концы обозначаются 5' и 3'. В процессе сплайсинга фосфодиэфирные связи на обоих концах интрона в точках, называемых 5'- и 3'-участками сплайсинга, разрываются и экзоны соединяются образовавшимися 3'- и 5'-концами.

мы изучали гены рибосомных РНК одноклеточного эукариотического организма *Tetrahymena thermophila*. Чтобы понять, как работают гены рРНК, необходимо было установить, в чем заключается и как происходит процессинг («созревание») РНК — как и в каком порядке она разрезается, сплайсируется и подвергается другим превращениям, приводящим в итоге к появлению в клетке зрелых рРНК. К 1980 г. мы уже в общих чертах представляли себе это.

Как и другие эукариоты, тетрахимена имеет четыре рибосомные РНК. Гены трех из них транскрибируются так, что образуется единая протяженная молекула РНК. Этот так называемый первичный транскрипт затем претерпевает процессинг, в результате чего образуются три разные рРНК.

Одно из первых событий, происходящее в пределах нескольких секунд после завершения транскрипции, состоит в том, что из первичного транскрипта, длина которого примерно 6400 нуклеотидов, вырезается интрон размером около 400 нуклеотидов. При этом два соседних экзона соединяются. В 1980 г. мы с А. Заугом обнаружили, что сплайсинг вполне успешно протекает «в пробирке» в реакционной смеси, содержащей экстракт из клеточных ядер. Хотя к тому времени сплайсинг был известен сравнительно давно, механизм его оставался непонятным. И мы с Заугом решили попытаться выяснить, каким образом происходит вырезание интрона у тетрахимены.

Первым делом мы постарались определить минимальный набор компонентов реакционной смеси, необходимых для сплайсинга. Для этого предшественник рРНК (несплайсированную рРНК) смешивали с различными экстрактами из ядер тетрахимены, в которых, как мы рассчитывали, должны были присутствовать гипотетические ферменты сплайсинга. В реакционную смесь добавлялись также нуклеотиды и определенные соли — из тех соображений, что в живом организме нуклеотиды, содержащие три фосфатных группы, часто служат источником энергии для различных реакций, а реакция сплайсинга, возможно, нуждается в притоке энергии извне. Действительно, оказалось, что некоторые низкомолекулярные вещества, а именно ионы магния и гуанозин либо гуаниновый нуклеотид (годятся гуанозинтрифосфат и некоторые другие), обязательны для протекания реакции. К нашему глубокому изумлению, этого нельзя было сказать о самом экстракте из клеточных ядер, предположительно содержавшем ферменты сплайсинга!



ИНТРОН УДАЛЯЕТСЯ САМ из предшественника рибосомной РНК (рРНК) тетрахимены без участия каких бы то ни было белковых ферментов. Каскад реакций, приводящих к выщеплению интрона, инициируется молекулой гуанозина или гуанозинтрифосфата (ромбик). Гидроксильная группа (ОН) гуанозина «атакует» фосфатную группу на 5'-конце интрона (1). Фосфодиэфирная связь между интроном и левым экзоном разрывается, и образуется новая связь между гуанозином и 5'-концом интрона. В результате появляется свободный 3'-конец на левом экзоне, гидроксильная группа которого атакует 3'-конец интрона (2). Происходит разрыв этой связи, что сопровождается соединением экзонов, а интрон остается вне цепи РНК (3). Аналогичная реакция приводит к циклизации интрона с отщеплением 15 нуклеотидов от его конца (4). Кольцо размыкается, превращаясь в линейную молекулу (5), которая затем вновь образует кольцо, теряя 4 нуклеотида (6). Окончательно интрон принимает линейную форму, называемую L—19 IVS (7).

Фермент — РНК?

Не оставалось ничего другого, как предположить, что либо ферментативную активность проявлял белок, настолько прочно связанный с РНК, что в наших опытах его просто не удалось отделить от нее, либо сама РНК катализировала свой собственный сплайсинг. Поскольку идея о том, что все биологические катализаторы являются белками, глубоко укоренилась в науке, нам было непросто принять гипотезу о РНК-катализаторе. Вскоре, однако, мы столкнулись еще с одним случаем, наводившим на мысль о РНК в роли катализатора. П. Грабовская (делавшая тогда в моей лаборатории дипломную работу) обнаружила, что интрон тетрахимены может существовать в кольцевой форме и что линейная форма интрона может быть переведена в кольцевую, если ее инкубировать в растворе, содержащем ионы магния, без каких бы то ни было ферментов. Опыты свидетельствовали, что и эта реакция не зависит от присутствия белков и, следовательно, не нуждается ни в каких ферментах (ферментах по крайней мере

ре в том смысле, какой вкладывали в это слово в 1981 г.).

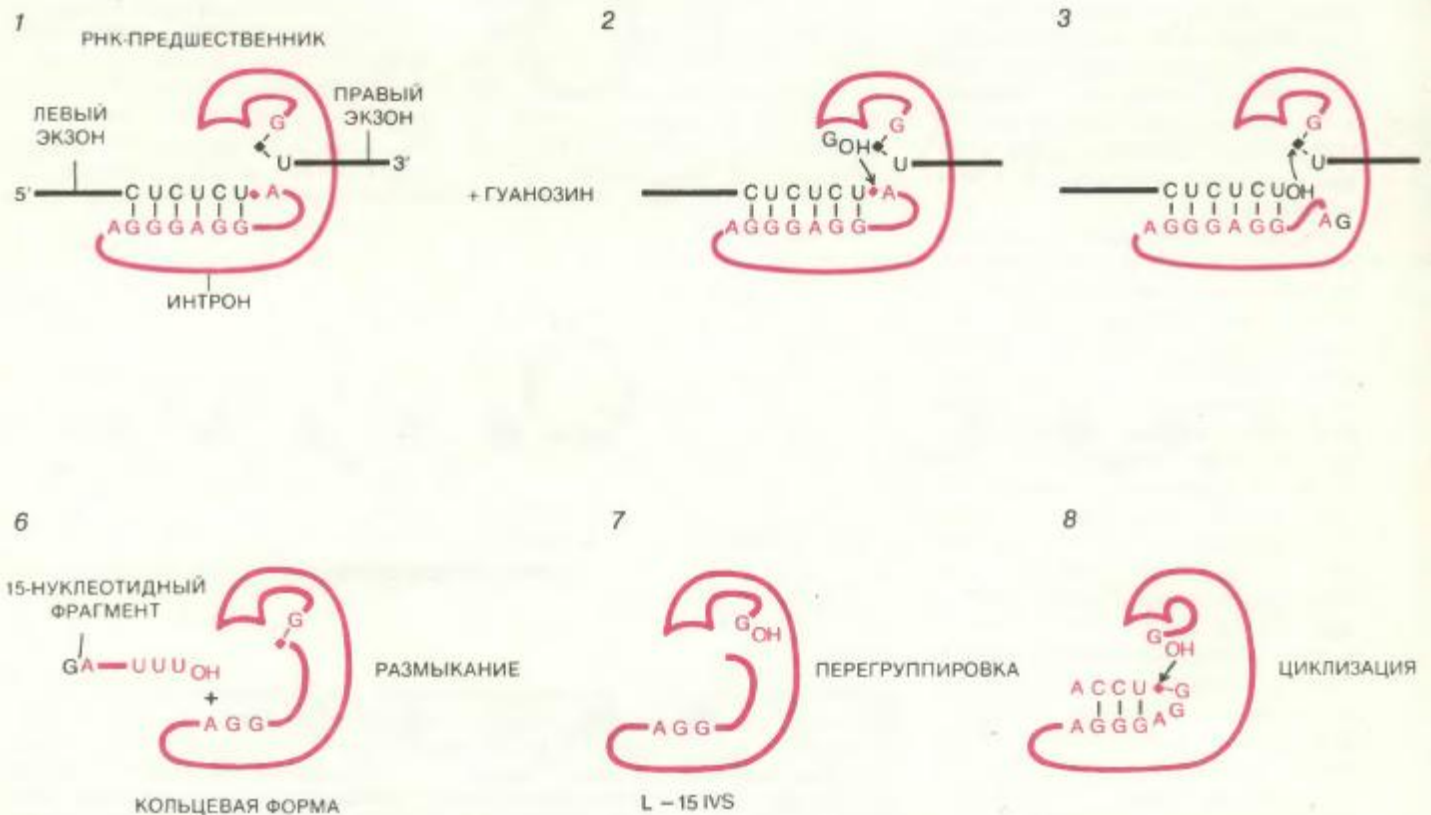
И все же мы не могли полностью исключить возможность того, что от РНК не был отделен некий «скрытый» белковый фермент. РНК, которая использовалась в этих экспериментах, выделялась из экстракта ядер тетрахимены, т. е. из неочищенной системы, так что была некоторая вероятность, что какой-то необычайно стабильный белок при всех обработках остается прочно связанным с РНК и что он-то и катализирует выщепление и циклизацию интрона.

Чтобы избавиться от сомнений, был проведен ряд специальных опытов, и результаты их получились вполне однозначными. Наиболее убедителен эксперимент, в котором фрагмент первичного транскрипта рРНК транскрибировался с рекомбинантной плазмиды (плазмиды — это сравнительно короткие кольцевые ДНК). Это была уже полностью искусственная система: рекомбинантную плазмиду размножали в клетках бактерии *E. coli*, выделяли в чистом виде и проводили ее транскрипцию при помощи очищенной бактери-

альной РНК-полимеразы, которую затем удаляли из раствора. Полученная таким способом РНК сама никогда не находилась в клетке или в присутствии клеточного содержимого и, следовательно, никак не могла быть «загрязнена» ферментами сплайсинга. Тем не менее она оказалась способной к сплайсингу. Более того, цепь РНК расщеплялась и соединялась в тех же самых точках, по которым сплайсинг такой РНК протекает в intactной клетке (точки сплайсинга *in vivo* были определены Дж. Галлом и его сотрудниками в Йельском университете).

После этого не осталось никаких сомнений — у тетрахимены происходит аутосплайсинг интрона.

Нас сразу поразило, что аутосплайсинг в некоторых существенных аспектах похож на действие классических ферментов. Реакция была высокоспецифичной. Скорость ее увеличивалась на много порядков. Кроме того, если РНК помещали в раствор, препятствующий ее сворачиванию, она теряла способность к аутосплайсингу. Этот результат показывал, что пространственная структу-



МЕХАНИЗМ АУТОКАТАЛИТИЧЕСКОГО ВЫЩЕПЛЕНИЯ интрона тетрахимены включает серию реакций переэтерификации. Нуклеотидная последовательность GGAGGG, расположенная у 5'-конца интрона, связывает последовательность CUCUCU, находящуюся на конце левого экзона (1; интрон выделен цветом). Одновременно активируется фосфатная группа на 5'-конце интрона (цветной ромбик).

Когда рядом имеется гуанозин, интрон связывает его таким образом, что тот может легко атаковать фосфодиэфирную связь при активированной фосфатной группе (2). После разрыва этой связи фосфатная группа на другом конце интрона, которая также активируется (черный ромбик), подвергается атаке гидроксильной группой свободного 3'-конца левого экзона (3). В результате интрон вы-

ра полинуклеотидной цепи РНК необходима для сплайсирующей активности — точно так же, как определенная пространственная структура аминокислотной цепи необходима для активности белкового фермента. Однако в отличие от «настоящих» ферментов молекула РНК катализировала только свое собственное превращение. Для того чтобы подчеркнуть это отличие, и был предложен специальный термин — рибозим.

Каталитический каскад

Оказалось, что аутосплайсинг — только одна из ступеней целого каскада превращений, которые РНК тетраимены может проделывать сама с собой. После выщепления интрон сразу переходит в кольцевую форму, открытую Грабовской. В процессе циклизации интрон, в котором изначально было 414 нуклеотидов, теряет фрагмент длиной 15 нуклеотидов. Через короткое время кольцо опять размыкается. Линейная молекула далее снова превращается в циклическую, теряя на сей раз 4 нуклеотида. Это кольцо тоже раскрывается,

и образуется линейная РНК, обозначаемая L—19 IVS (от англ. linear intervening sequence — линейная интронная последовательность минус 19 нуклеотидов).

Естественно, хотелось понять, каким образом интрон катализирует все эти превращения. Некоторые указания на механизм появились еще до того, как мы поняли, что имеем дело с аутокатализом. Так, было установлено, что для реакции необходим гуанозин. Анализируя нуклеотидную последовательность выщепленного интрона, Зауг обнаружил на его конце гуанозин, не закодированный в ДНК. Логично было предположить, что гуанозин нужен в реакции сплайсинга не как источник энергии, а для присоединения к цепочке нуклеотидов интрона. Чтобы проверить это, я смешал некоторое количество радиоактивного гуанозинтрифосфата (гуанозинтрифосфат, или сокращенно GTP, представляющий собой фосфорилированный гуанозин, участвует в качестве источника энергии во многих клеточных реакциях) с немеченым несплайсированным предшественником рРНК. Действительно, GTP исполь-

зовался не для энергетических целей: по завершении сплайсинга радиоактивная метка оказывалась присоединенной к концу интрона.

Какую же роль играет гуанозин в сплайсинге? Мы считаем, что GTP (или любая из нескольких других форм гуанозина) служит «атакующей группой», облегчая разрыв цепи РНК в нужном месте. Расщепление цепи РНК означает разрыв ее скелета, состоящего из чередующихся элементов двух видов — фосфатных групп и остатков пятиуглеродного сахара-рибозы (азотистые основания, различающиеся у разных нуклеотидов и собственно кодирующие генетическую информацию, соединены по одному с каждым остатком сахара). Для расщепления цепи РНК необходимо разорвать так называемую фосфодиэфирную связь, соединяющую остаток сахара с фосфатной группой. Гуанозин атакует фосфодиэфирную связь на одном из концов интрона и тем самым инициирует реакцию аутосплайсинга.

Исходя из того, что нам удалось выяснить о роли гуанозина, мы продолжили исследования с целью составить общую схему реакции аутосплайсинга. Процесс начинается с того, что молекула свободного гуанозина (или GTP), столкнувшись с интронной РНК, на какое-то время задерживается возле определенного ее участка, называемого участком связывания (как бы попадает в «карман», образованный нуклеотидной цепью интрона). В участке связывания гуанозин занимает такое положение, что его гидроксильная группа (ОН) оказывается в выгодной позиции для атаки фосфатной группы, находящейся в месте соединения экзона с 5'-концом интрона. (В молекуле нуклеиновой кислоты фосфодиэфирная связь соединяет 5'-углеродный атом одного остатка сахара через фосфат с 3'-углеродным атомом другого остатка сахара; таким образом, цепь РНК имеет направление: один ее конец обозначается 5', другой — 3'.) В то же самое время другой участок связывания удерживает 3'-конец экзона в положении, удобном для атаки фосфодиэфирной связи гуанозином. Тонкая структура участка связывания гуанозина еще не выяснена, но участок, связывающий конец экзона, удалось идентифицировать. Им оказался фрагмент интрона с последовательностью нуклеотидов GGAGGG. Эти шесть нуклеотидов могут образовывать водородные связи с последовательностью из шести пиримидинов (CUCUCU), расположенной на 3'-конце экзона (азотистые основания нуклеотидов относятся к двум типам:



цепляется, а экзоны соединяются (4). Происходит перегруппировка интрона, вследствие чего последовательность UUU на его 5'-конце оказывается в положении, удобном для атаки 3'-концевым гуанозином (5). Происходит циклизация интрона, причем отщепляются 15 нуклеотидов между активированным фосфатом и концом интрона (6). Кольцо размыкается (7) и вновь замыкается (8, 9), теряя 4 нуклеотида. Наконец, интрон опять переходит в линейную форму, называемую L—19 IVS (10).

А и G — это пурины, U и C — пиримидины). Удерживая одновременно шестипиримидиновую последовательность и гуанозин, интрон обеспечивает такое расположение химических группировок в пространстве, которое оптимально для их взаимодействия.

Объектом атаки гуанозина является фосфодиэфирная связь между последним нуклеотидом шестипиримидиновой последовательности (U) и следующим нуклеотидом (A). Гуанозин разрушает связь U—A, внедряясь между этими нуклеотидами и сам образуя новую связь с A. Такое «перебрасывание» фосфодиэфирной связи носит название реакции перэтерификации. При соединении гуанозина с 5'-концом интрона последний нуклеотид (U) экзона остается с OH-группой в 3'-положении, т. е. появляется свободный 3'-конец. Однако он недолго остается свободным: моментально следует еще одна реакция перэтерификации, в результате которой соединяются концы экзона и выплещается интрон. Третья такая же реакция превращает интронную последовательность в кольцо. А когда оно замыкается, опять происходит реакция перэтерификации и кольцевая форма восстанавливается, но уже в несколько укороченном виде.

Как работает рибозим

Изучая механизм аутосплайсинга, мы (в этой работе участвовали мои коллеги Б. Басс, Ф. Салливан,

Т. Инуз и М. Бин) все более убеждались в сходстве рибозима с классическими ферментами. Типичный ферментативный катализ состоит в том, что белок-фермент связывает два субстрата реакции (вещества, которые должны взаимодействовать) таким образом, что они в пространстве оказываются в непосредственной близости друг от друга и в ориентации, максимально облегчающей протекание химической реакции между ними. Интрон РНК, действует, как видно, точно так же, связывая гуанозин и шестипиримидиновую последовательность.

Однако сходство этим не ограничивается. Мы уже знали, что сворачивание нуклеотидной цепи интрона в пространстве столь же необходимо для проявления его каталитической активности, как трехмерная структура аминокислотной цепи для нормального белкового фермента. Во-первых, в результате сворачивания формируются участки связывания гуанозина и пиримидиновой последовательности. Во-вторых, как выяснилось в дальнейшем, когда интрон находится в свернутом состоянии, фосфатные группы в нужных для реакции участках активированы, т. е. их конформация благоприятна для разрыва фосфодиэфирной связи. Подтверждением этому служит тот факт, что даже в отсутствие гуанозина интрон претерпевает медленное расщепление в 3'-концевой точке сплайсинга и, еще более медленное, в 5'-концевой его точ-

ке. В данном случае роль атакующей группировки берут на себя ионы гидроксила (OH^-) из раствора.

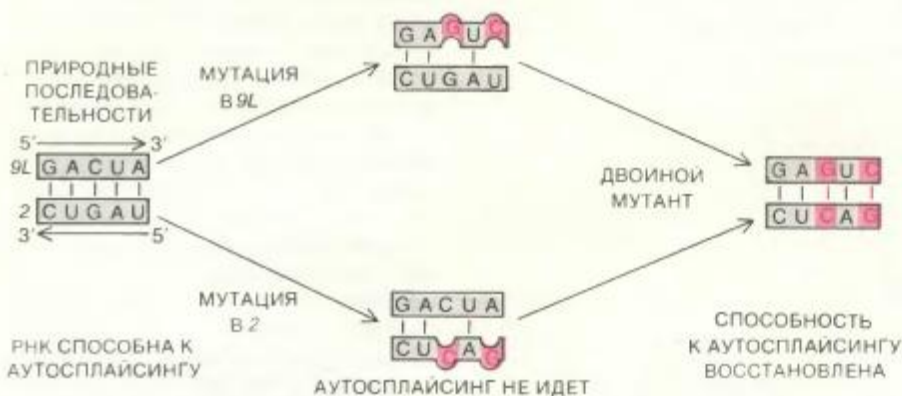
То, что в отсутствие гуанозина расщепление происходит медленнее, чем при его участии, неудивительно: в отличие от гуанозина ион OH^- не связывается интроном в положении, оптимальном для атаки фосфодиэфирной связи. Важно, что без гуанозина цепь РНК расщепляется в тех же точках, что и в полноценной реакции сплайсинга. Сама пространственная структура интрона, независимая от атакующей группы, каким-то образом способствует расщеплению фосфодиэфирных связей именно на концах вырезаемого интрона.

Почему и как конкретно при сворачивании интрона активируются фосфаты в точках сплайсинга, мы не знаем, но это не мешает оценить эффективность такого способа активации. Обычно РНК весьма стабильна: без катализа ее фосфодиэфирные связи расщепляются очень медленно. В точках сплайсинга благодаря пространственной структуре интрона расщепление этих связей ускоряется в 10^{10} раз. Для наглядности скажем, что время реакции сокращается с 19 тыс. лет до 1 минуты!

Структурный остов интрона

Какова же пространственная структура интрона, придающая ему каталитические функции? Ответ на этот вопрос возник на основе исследований, казалось бы довольно далеких от нашей темы — сравнительного анализа РНК тетрахимены и РНК других организмов.

Речь о таком сравнении зашла потому, что в 1982 г. появились первые схемы классификации для реакций сплайсинга. Началось с того, что разные сплайсирующиеся РНК сгруппировали по степени сходства нуклеотидных последовательностей их интронов. Получилось 4 группы молекул. Одна из них включала транскрипты, подвергающиеся процессингу в ядре, из которых в результате получают молекулы тРНК. Другую группу составляли предшественники мРНК, процессинг которых также происходит в ядре. Остальные две группы, обозначаемые «группа I» и «группа II», объединяли более разнообразные РНК. В группу I входят интроны рРНК, мРНК и тРНК в основном из митохондрий и хлоропластов (цитоплазматических органелл, содержащих свои собственные ДНК, РНК и рибосомы). На сегодняшний день известно около 30 примеров интронов группы I (вполне возможно, их гораздо боль-



ЗНАЧЕНИЕ КОМПЛЕМЕНАРНОСТИ определенных участков нуклеотидной последовательности интрона для его каталитической активности. К числу участков рРНК тетрахимены, важных для формирования пространственной структуры, необходимой для аутосплайсинга интрона, принадлежат элементы 9L', A, B, 9L, 9R и 2 (см. рисунок на с. 27). В функционально активном интроне элемент 9L взаимодействует с элементом 2, образуя двухцепочечный участок. Если в каком-либо из этих элементов вызвать мутацию, нарушающую их комплементарность, интрон теряет способность к аутосплайсингу (такой эксперимент был проведен автором в сотрудничестве с Дж. Бурке и его коллегами из Вильямс-Колледжа). При мутациях в обоих элементах комплементарность и каталитическая активность интрона могут восстанавливаться. Функциональное значение элементов 9L', A, B, 9L и 2 подтверждается также тем, что они практически не менялись в ходе эволюции и присутствуют во всех сплайсирующихся РНК группы I, к которой относится и предшественник рРНК тетрахимены.

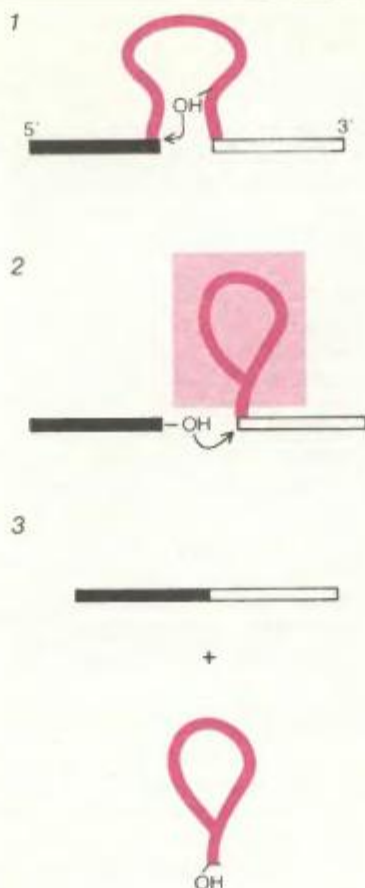
ше). Они идентифицированы у множества организмов в широком спектре от простейших до грибов и высших растений, таких, как пшеница и бобы (однако не найдены у животных). Интроны группы II — это в основном РНК из митохондрий грибов и хлоропластов растений; они распространены, по-видимому, не так широко, как представители группы I.

Первоначально группа I включала интроны митохондрий грибов, имеющие одни и те же четыре нуклеотидные последовательности длиной приблизительно 10 нуклеотидов каждая. Вскоре стало ясно, что от этих последовательностей существенно зависит функционирование интронов группы I, в особенности их трехмерная структура, важная для сплайсинга. Первые указания на связь между структурой и функционированием интронов обнаружилось в 1982 г., когда сразу несколько исследователей обратили внимание на то, что в интрон тетрахимены (а эта РНК синтезируется не в митохондриях, а в ядре клетки) есть те же консервативные элементы нуклеотидной последовательности, что и в интронах группы I.

Наличие общих элементов структуры тем более удивительно, что рассматриваемые РНК происходят из совершенно разных объектов. Грибы и простейшие считаются эволюционно далекими друг от друга организмами, а нуклеиновые кислоты митохондрий обычно значительно отличаются от аналогичных молекул из ядра клетки. Сохранение в ходе эволюции в неизменном виде тех или иных участков нуклеотидной последовательности обычно означает, что эти консервативные элементы выполняют в клетке важную функцию, которая не должна исчезать в процессе дивергентной эволюции.

При учете того, что было известно об интроне тетрахимены, казалось разумным следующее предположение: консервативные последовательности интронов группы I нужны для формирования определенной пространственной структуры молекулы, обеспечивающей аутосплайсинг.

Попытки установить пространственную организацию структурного остова интрона были предприняты одновременно в нескольких лабораториях. Результаты, полученные разными исследователями, хорошо согласуются, что само по себе свидетельствует об их истинности. Ф. Мишель и Б. Дюжон из Центра молекулярной генетики в Жиф-сюр-Иветт (Франция) и Р. Дэвис из Манчестерского университета независимо друг от друга предположили, что благодаря консервативным участкам нуклео-



СТРУКТУРА ТИПА ЛАССО образуется при выщеплении интронов из РНК группы II. Некоторые интроны группы II аутосплайсируются, но не нуждаются при этом в гуанозине. Вместо него атаку 5'-участка сплайсинга осуществляет одна из множества 2'-гидроксильных групп самого интрона (1). В результате реакции 5'-конец интрона присоединяется не к его 3'-концу, а на некотором расстоянии от 3'-конца, так что образуется разветвление с петлей — лассо (2). Разветвление получается из-за возникновения новой 2' — 5'-фосфодиэфирной связи, в результате чего один из адениновых нуклеотидов образует не 2, как обычно, а 3 связи с соседними нуклеотидами (вверху справа). При соединении экзонов лассо выщепляется (3).

тидной последовательности все интроны группы I имеют сходную пространственную структуру или, как минимум, сходный структурный остов.

Один из способов того, как консервативные нуклеотидные последовательности могут обеспечивать определенную трехмерную структуру, заключается в их связывании друг с другом. Из четырех нуклеотидов, входящих в состав РНК, могут образоваться две комплементарные пары: А — U и G — C. В такой паре между нуклеотидами устанавливаются слабые химические связи, называемые водородными. Водородные связи между комплементарными нуклеотидами удерживают вместе две нуклеотидные цепи двойной спирали молекулы ДНК. Точно так же могут взаимодействовать два участка РНК, имеющие комплементарные последовательности нуклеотидов. Благодаря комплементарному спариванию консервативных нуклеотидных последовательностей интрон сворачивается в определенную пространственную структуру. Модель ее была предложена Мишелем и Дэвисом на основании анализа нуклеотидных последовательностей.

В это же самое время мы исследовали пространственную укладку интро-

на биохимическими методами. На основании структурных данных, полученных в нашей лаборатории Н. Кайлом Тэннером, и компьютерной программы, разработанной М. Цукером из Национального совета научных исследований Канады, была построена модель структуры интрона. Наша модель удивительно хорошо совпала с моделью Мишеля и Дэвиса. Это совпадение убеждает, что модели в целом верны и что описываемая ими структура играет непосредственную роль в процессе аутосплайсинга.

Другие данные тоже свидетельствуют о правильности такого предположения. Генетики, изучавшие экспрессию митохондриальных генов в дрожжах, обнаружили мутации, изменяющие короткие консервативные последовательности в интронах группы I и приводящие к нарушению сплайсинга. Позже нам совместно с Дэвисом и его коллегами удалось «испортировать» консервативные последовательности в интроне тетрахимены и показать, что это тоже нарушает аутосплайсинг.

Из этих результатов явно следует, что консервативные элементы нуклеотидных последовательностей интронов группы I участвуют в формировании их трехмерной структуры, необ-

ходимой для каталитической функции. Однако ввиду того, что детальная пространственная структура интрона еще не установлена, многие вопросы пока остаются не решенными. Мы надеемся, что вскоре удастся понять, как конкретно благодаря трехмерной структуре остова интрон сближает нужные субстраты и способствует реакции между ними.

По мере того как выявлялась взаимосвязь между структурным остовом и аутосплайсингом, выяснялось, что интрон тетрахимены далеко не уникален в отношении аутосплайсинга. С одной стороны, это придавало уверенности в правильности наших результатов, а с другой — новые данные были не столь уж удивительны. В самом деле, если митохондриальные интроны группы I и интрон тетрахимены имеют похожую структуру и у тетрахимены она используется для аутосплайсинга, то почему бы не предположить, что интроны группы I тоже способны к аутосплайсингу?

Данные, полученные недавно несколькими группами исследователей, подтвердили это предположение. Дж. Гарриджа и А. Ламбовиц из Сент-Луисского университета показали, что интрон митохондриальной мРНК грибка *Neurospora crassa* аутосплайсируется. Х. Табак с коллегами в Амстердамском университете обнаружили аутосплайсинг некоторых интронов мРНК и рРНК из митохондрий дрожжей. Во всех случаях для аутосплайсинга был необходим гуанозин и механизм сплайсинга был такой же, как у тетрахимены. Интересно, что, как впоследствии было обнаружено, РНК из бактериального вируса, т. е. биологически совершенно иного объекта, обладает теми же свойствами. М. Белфорт, Ф. Мали и их коллеги из отдела здравоохранения шт. Нью-Йорк в Олбани обнаружили, что РНК бактериофага T4 может сама себя сплайсировать в клетках *E. coli*.

Открытие Белфорт и Мали еще бо-

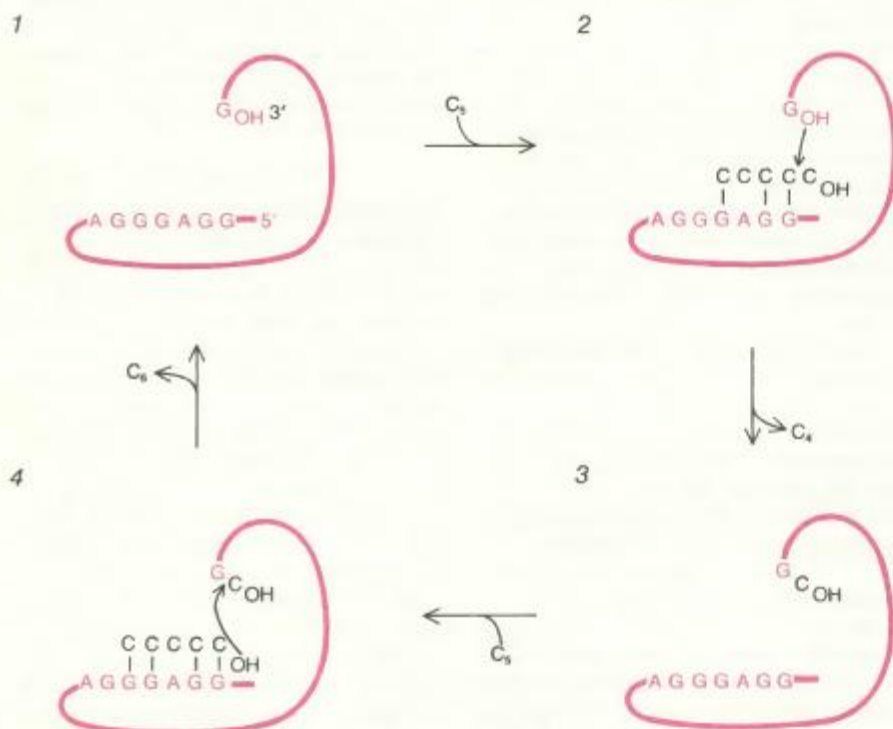
лее расширило спектр организмов, обладающих механизмом сплайсинга группы I, — от бактериальных вирусов до высших организмов. А совсем недавно аутосплайсинг был обнаружен и у интронов группы II. В 1986 г. К. Пиблс, сотрудник Питтсбургского университета, работающий совместно с Ф. Перлманом из Университета шт. Огайо, а также Л. Гривелл и его коллеги из Амстердамского университета показали, что предшественник мРНК из митохондрий (эта мРНК относится к группе II) может сам выщеплять собственный интрон. Причем механизм аутосплайсинга РНК группы II отличается от механизма группы I. Во-первых, он не нуждается в гуанозине и вообще ни в каком ином свободном нуклеотиде. А во-вторых, в процессе аутосплайсинга образуется структура, не свойственная интрону тетрахимены и родственным РНК из других организмов, — структура типа «лассо».

Лассо представляет собой петлю, образуемую нуклеотидной цепью интрона при его выщеплении из первичного транскрипта. При этом петля получается не за счет соединения концов интрона, а в результате возникновения связи между одним из его концов и нуклеотидом, расположенным на некотором расстоянии от другого конца, так что небольшой концевой фрагмент РНК интрона оказывается не включенным в кольцо. Эта структура имеет некоторое сходство с лассо, которым пользуются ковбои, — отсюда и ее название.

Интересно, что структура типа лассо, подобная образующейся при сплайсинге интронов группы II, уже была известна: она появляется при сплайсинге предшественников мРНК в ядре. Сплайсинг ядерных пре-мРНК зависит от присутствия белков, и поэтому считалось, что он катализируется белковыми ферментами. Открытие того, что при аутосплайсинге интронов группы II образуется лассо, позволяет предположить, что рибозимы играют какую-то роль при сплайсинге и ядерных пре-мРНК. Более того, интроны группы II, возможно, представляют эволюционный мостик между предшественниками ядерных мРНК и аутосплайсирующимися интронами группы I.

Настоящий катализатор

Хотя было ясно, что аутосплайсирующаяся РНК имеет много общих свойств с ферментами, одно существенное различие все же оставалось: рибозим катализировал реакции, затрагивающие его самого, а не другие молекулы. Так как в результате



ИСТИННЫЙ КАТАЛИЗ, осуществляемый интроном — катализ реакций, происходящих с другими молекулами, а не с ним самим, — был впервые продемонстрирован для интронной РНК L-19 IVS тетрахимены. В L-19 IVS по сравнению с исходным интроном отсутствует последовательность на 5'-конце, которая могла взаимодействовать с участком связывания GGAGGG. В то же время сам участок связывания имеется (1) и он способен взаимодействовать с другими молекулами, имеющими комплементарную последовательность нуклеотидов, например с цепочкой из пяти цитозинов (2). Концевой цитозин остается связанным с гуанозином на 3'-конце интрона (3), а четырехцитозиновый фрагмент отделяется. Затем интрон связывает другую цепочку из пяти цитозинов и происходит атака связи между цитозином и гуанозином интрона (4). В результате образуется цепочка уже из шести цитозинов, которая может служить субстратом для присоединения следующего цитозина (не показано). В лаборатории автора наблюдали синтез РНК длиной до 30 цитозинов.

аутосплайсинга сам рибозим претерпевал изменения, его нельзя было считать катализатором в строгом смысле слова. Поэтому некоторые исследователи относили рибозимы и ферменты к совершенно разным категориям. Но вот через два года после открытия аутосплайсинга и это различие исчезло.

В 1983 г. С. Альтман с сотрудниками из Йельского университета в сотрудничестве с группой исследователей под руководством Н. Пейса из Еврейской национальной больницы в Денвере занимались исследованием рибонуклеазы Р. Рибонуклеаза Р — фермент процессинга тРНК, имеющийся как в бактериях, так и в клетках высших организмов. Этот фермент необычен тем, что состоит из молекулы РНК и молекулы белка, действующих «в единой упряжке». Альтман с коллегами ранее показали, что в клетке оба компонента — и РНК и белок — необходимы для того, чтобы нуклеаза могла выполнять свою функцию — разрезать предшественник тРНК в определенном месте. Однако Альтман и Пейс обнаружили, что «в пробирке» для правильного разрезания предшественника тРНК достаточно РНК, в то время как одна белковая субъединица фермента такую реакцию осуществить не могла.

В начале 1984 г. Альтман опубликовал окончательное доказательство того, что РНК рибонуклеазы Р является ее каталитической субъединицей. Была проведена транскрипция этой РНК с искусственной рекомбинантной молекулы ДНК и было показано, что полученный транскрипт обладал специфической рибонуклеазной активностью — катализировал правильный процессинг предшественника тРНК. Таким образом, исключив возможность того, что катализ связан с белковыми примесями, этот эксперимент продемонстрировал, что по крайней мере *in vitro* РНК способна выступать в роли фермента в полном смысле слова. Вероятно, белок, не обладая сам каталитической активностью, помогает РНК функционировать в условиях внутриклеточной среды.

Недавно Заугу и мне удалось обнаружить, что укороченная форма интрона тетрахимены также может действовать как истинный фермент. К этому эксперименту нас привело размышление о том, каким образом происходит циклизация интрона. Обе последовательные реакции циклизации интрона осуществляются в принципе одинаково: связывается и отщепляется 5'-конец интрона, а остальная его часть в результате реакции перэтерификации замыкается в кольцо. По су-

ти, это такая же реакция, как выщепление интрона из РНК-предшественника, и отщепляемый фрагмент РНК тоже должен содержать пиримидиновую последовательность, способную взаимодействовать с участком связывания.

После того как интрон дважды замкнулся в кольцо, он теряет способность к циклизации — в основном, вероятно, из-за того, что отщепившиеся от него 19 нуклеотидов содержали единственные доступные для связывания пиримидиновые последовательности. Однако это еще не означает, что такая укороченная молекула не имеет каталитической активности. И мы рассудили, что если укороченному интрону L-19 IVS «предложить» новый субстрат, то он, быть может, заработает как настоящий фермент.

Именно так и произошло, когда Зауг добавил в раствор, содержащий L-19 IVS, короткие пиримидиновые цепочки РНК (в этом эксперименте они состояли только из остатков цитозина — С). Оказалось, что интрон обладает способностью расщеплять и соединять пиримидиновые фрагменты точно так же, как он расщепляет и воссоединяет свою собственную нуклеотидную цепь при наличии в ней пиримидиновой последовательности. Притом сам L-19 IVS после каждого реакционного акта оставался неизменным и готовым снова к такому же действию. Словом, L-19 IVS вполне удовлетворял классическому определению катализатора.

Хотя мы и ожидали, что укороченная форма интрона обладает настоящей ферментативной активностью, нас удивила высокая эффективность ее функционирования в качестве фермента. L-19 IVS способен расщеплять и воссоединять цепь из цитозин-около 100 раз за час. Даже несмотря на то что для такой реакции как для истинного каталитического акта необходимо, чтобы в растворе произошла встреча двух молекул, весь процесс под действием L-19 IVS происходит с той же скоростью, что и аутосплайсинг.

РНК собирает РНК

Был и еще один повод для удивления. В результате повторяющихся актов расщепления и воссоединения пиримидиновые цепочки удлинялись: L-19 IVS синтезировал полимер из цитозин-около! Это очень важный факт, так как полимеризация РНК — необходимая предпосылка для репликации (т. е. синтеза копий) генов, образованных из РНК, а именно такие гены, как считается, были у истоков жизни.

Некоторые исследователи полагают, что открытие аутосплайсинга и природы ферментативной активности рибонуклеазы Р разрешило долгий спор о том, что раньше возникло в эволюции: яйцо или курица — нуклеиновые кислоты или белки. Открытие того, что интрон тетрахимены обладает некоторой способностью к синтезу РНК, ставит гипотезу о первичной роли РНК на более прочную основу, поскольку свидетельствует о возможности (по крайней мере в принципе) аутокаталитической репликации РНК. Теперь уже разумно предполагать, что первым шагом к возникновению жизни была репликация РНК без участия каких бы то ни было белков.

Совершив этот небольшой экскурс в прошлое, заглянем теперь в будущее: попытаемся вообразить, какие могут быть обнаружены новые примеры каталитической активности РНК. Во всех известных на сегодня случаях субстратом для ферментативного действия РНК является сама РНК — участки той же полимерной молекулы, другая полимерная молекула РНК или же единичный нуклеотид. Вероятно, это не случайно. РНК прекрасно подходит для взаимодействия с РНК, и гораздо труднее представить, как она может сформировать хороший центр связывания, предназначенный для взаимодействия с иными важными биологическими молекулами, скажем, с аминокислотами или жирными кислотами. Поэтому, как мне кажется, если и будут найдены другие примеры каталитической активности РНК, субстратом в них тоже должна быть РНК.

Разумно выглядят две возможности. Одна из них предполагает участие маленьких рибонуклеопротеидных частиц, присутствующих в ядрах клеток, — так называемых частиц мяРНП (малые ядерные рибонуклеопротеиды), которые необходимы для многих реакций «созревания» РНК в ядре, включая сплайсинг. Каждая частица мяРНП состоит из молекулы РНК и нескольких молекул белков. Не исключено, конечно, что эти частицы просто отмечают, как маркеры, в предшественнике мРНК те точки, в которых «обычные», белковые ферменты должны осуществить сплайсинг. Но по моему мнению, мяРНП принимают непосредственное участие в катализе.

Другая возможность связана с рибосомой. Рибосома состоит из 55 или более молекул разных белков и нескольких молекул РНК. Некоторые из субстратов, с которыми приходится иметь дело рибосоме, тоже представляют собой РНК — тРНК и

мРНК. Работы многих исследователей, и прежде всего группы под руководством К. Воге из Иллинойского университета в Эрбана-Шампейн и Г. Ноллера-младшего с сотрудниками из Калифорнийского университета в Санта-Круссе, показали, что в ходе эволюции пространственная структура рРНК менялась очень мало. Этот результат и тот факт, что существуют мутации рибосомных РНК, влияющие на синтез белков, можно интерпретировать как указание, что рРНК непосредственно участвуют в синтезе белка.

Если будет обнаружено, что синтез белка — одна из основных биосинтетических активностей в клетке — катализируется РНК, это нанесет окончательный удар представлению о том, что все ферментативные функ-

ции в клетке выполняются белками. Конечно, все может обстоять далеко не так. Вполне вероятно, что рибосома является нерасторжимым комплексом РНК с белками и что окажется невозможным отнести ее каталитическую активность к тому либо к другому компоненту. Тем не менее независимо от того, удастся ли доказать ферментативную активность рибосомной РНК, за последние пять лет в биохимии подверглась пересмотру фундаментальная идея, а именно: что есть фермент. Стало очевидным, что, по крайней мере в некоторых случаях, функция хранения информации и каталитическая функция могут сосуществовать в одной и той же молекуле — РНК. И сейчас мы еще только начинаем понимать истинное значение такого совмещения функций.

для исследовательской группы С. Чаттерджи из Техасского технологического университета, подтверждает теорию происхождения птиц от динозавров. Новая находка, возраст которой оценивается в 225 млн. лет, названа *Protoavis* (первоптица).

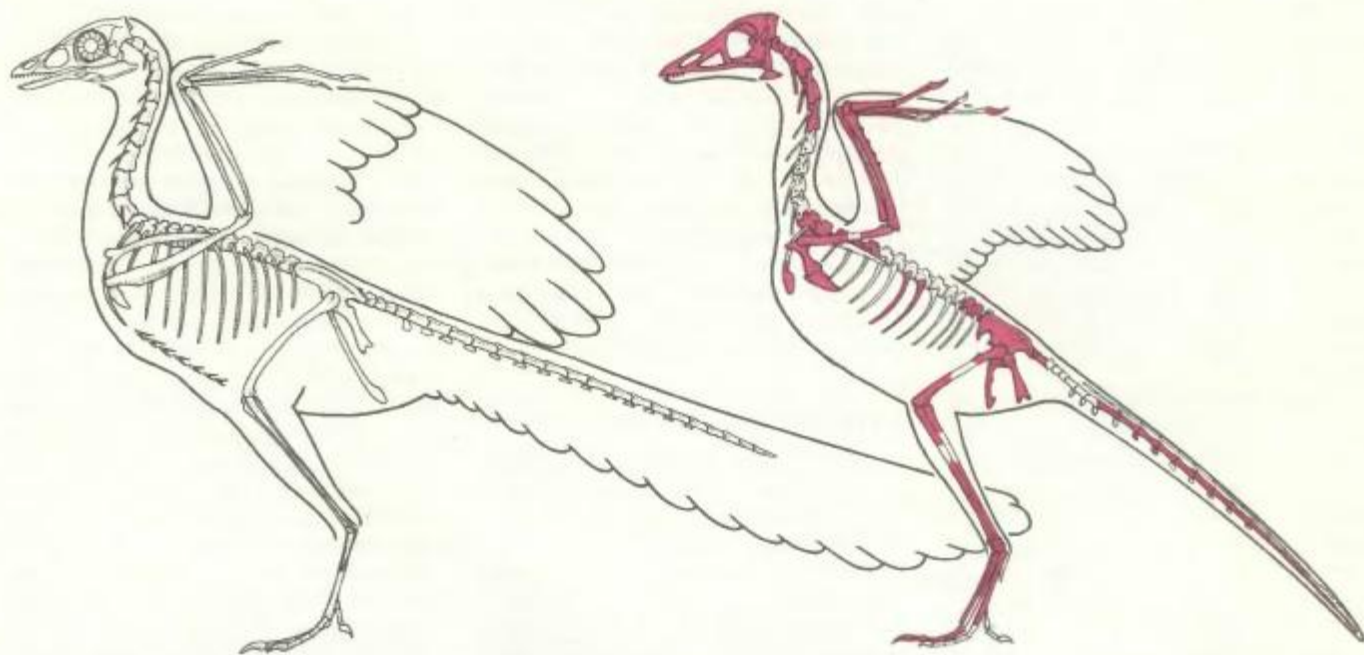
У древнего существа были сильные крепкие ноги, костистый хвост и таз, предназначенный для бега. Все это признаки, характерные для динозавров, и вначале Чаттерджи решил, что нашел остатки молодого питавшегося мясом динозавра. Но когда он изучил другие кости, то изменил свое мнение. У *Protoavis* была хорошо развита грудная кость с килем, служащим у птиц для прикрепления тех мышц, которые работают во время полета; причем кости были полые и, следовательно, легкие, а передние конечности — длинные. Череп в особенности свидетельствует о том, что *Protoavis* является промежуточной формой между динозаврами и птицами. У найденного в Техасе ископаемого животного были хорошо развиты уши; по-видимому, *Protoavis*, как и птицы, общались с помощью звуков; динозавры же в большинстве своем были немыми. Далее, у динозавров на висках позади глаз имелись отверстия, соответствующие мышечным буграм (как у современных крокодилов). А у *Protoavis* и у современных птиц эти отверстия слились с глазницами (вот почему у птиц глаза такие крупные относительно тела). «Это неопровержимое доказательство того, — говорит Чаттерджи, — что

Наука и общество

Пересмотр древностей

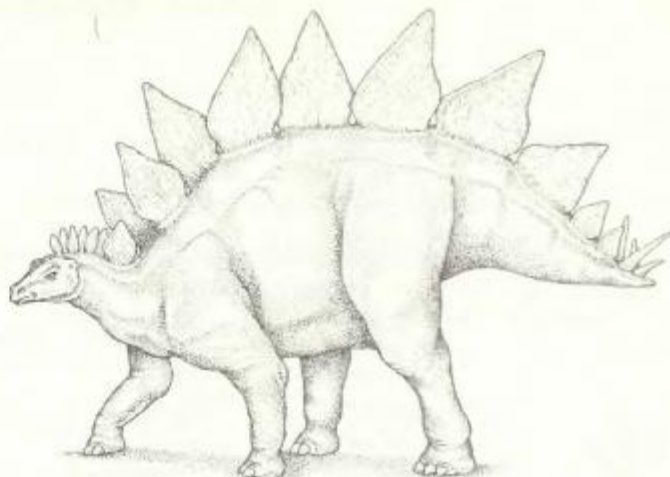
ОКАМЕНЕЦЬ могут ископаемые остатки, но не их интерпретация. Новая находка и новое толкование уже известных данных заставляют пересмотреть традиционную точку зрения относительно двух групп древних существ — самых первых птиц и *Stegosaurus*.

Начнем с древнейших птиц. Два набора костей, обнаруженных на западе шт. Техас, как оказалось, принадлежали птицам величиной с ворону, которые жили за 75 млн. лет до *Archaeopteryx*, считавшегося до сих пор самой древней птицей. Найденное животное строением задних конечностей и хвоста похоже на рептилию, а строением передних частей скелета — на птицу, что, по мнению руководи-



ПРЕДОК СОВРЕМЕННЫХ ПТИЦ до сих пор отождествлялся с *Archaeopteryx*, похожим и на птицу и на рептилию (слева). Недавно найдены ископаемые остатки более древней,

но более похожей на настоящую птицу формы — *Protoavis* (справа), которой теперь отводится место общего предка нынеживущих птиц. (Сохранившиеся кости цветные.)



STEGOSAURUS прежде представляли с двумя рядами пластин вдоль спины (слева); палеонтологи спорили лишь о том, как располагались пластины — в шахматном порядке (как показано на рисунке) или парами друг против друга.

Однако С. Черкас, проанализировав имеющиеся палеонтологические данные, пришел к выводу, что у стегозабра был только один ряд пластин (справа).

Protoavis вышел за пределы динозавров и достиг уровня птиц.

По ископаемым остаткам *Archaeopteryx*, найденным в Баварии в 1961 г., нельзя было определить, имело ли это существо полые кости и килеобразную грудную кость, необходимые для полета. Кроме того, не сохранилась большая часть черепа. Однако на основании строения челюстей Чаттерджи считает, что *Archaeopteryx* примитивнее *Protoavis* и, возможно, представляет боковую ветвь в эволюции птиц. У *Protoavis* нет задних зубов, а у *Archaeopteryx* есть весь набор. «Лишние» зубы и мощные челюсти увеличивали вес тела, что должно было мешать полету.

Палеонтологи, не разделяющие уверенности Чаттерджи, что *Protoavis* — птица, указывают на отсутствие у него оперения, в то время как на окаменелостях *Archaeopteryx* можно различить отпечатки перьев. Чаттерджи, отвечая оппонентам, подчеркивает, что отпечатки перьев сохраняются не всегда и что на некоторых костях техасской находки имеются небольшие утолщения, к которым, вероятно, прикреплялись перья. По его мнению, *Protoavis* наверняка мог совершать небольшие перелеты, спасаясь от хищников.

Protoavis прекрасно укладывается в картину эволюционного развития птиц. Процветание и дивергенция видов этой группы начались около 100 млн. лет назад. Сходство некоторых из древних птиц с представителями современных семейств свидетельствует о существовании общего предка, более древнего, чем *Archaeopteryx*.

Что касается *Stegosaurus*, то его

внешний вид знаком всякому, кто интересуется динозаврами. Да, это тот самый, с двумя рядами торчащих из спины пластин. А может, не тот? Палеонтолог С. Черкас (он не принадлежит ни к какому научному учреждению и ведет собственные исследования) проанализировал все доступные данные о находках *Stegosaurus*. Выступая на симпозиуме в Музее естественной истории графства Лос-Анджелес, от утверждал, что стегозавр в действительности имел только один ряд пластин.

Два ряда пластин фигурировали в гипотезе, согласно которой стегозавр был теплокровным и нуждался в охлаждении, что достигалось за счет движения воздуха между рядами пластин. На самом деле, как полагает Черкас, стегозавр, подобно нынешним холоднокровным рептилиям, регулировал температуру тела при помощи солнечного тепла. Его холодная кровь согревалась, циркулируя по плоским, вертикально торчащим в один ряд пластинам, действовавшим как солнечные батареи.

Черкас считает, что пластины шейной и плечевой области благодаря широкому основанию были наклонены в сторону от средней линии, причем направление наклона чередовалось. Если стегозавр умирал, лежа на боку, верхние части пластин заходили друг за друга, хотя их основания и образовывали одну линию. (Остальные пластины, идущие вдоль спины и хвоста, располагались вертикально точно по средней линии.) Поэтому палеонтологи, впервые обнаружившие окаменелости *Stegosaurus* в Колорадо в 1886 г., сочли, что у этого динозавра было два ряда пластин.

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.



Бозон Хиггса

Введение бозона Хиггса в стандартную модель — теорию, описывающую взаимодействия элементарных частиц, — делает ее математически непротиворечивой. Для поиска этой неуловимой частицы необходимы новые ускорители

МАРТИНУС ДЖ. Г. ВЕЛЬТМАН

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ проблемы физики всегда можно объяснить просто, не прибегая к помощи сложных уравнений и математических доказательств. Такое мнение однажды высказал в разговоре со мной знаменитый физик В. Вайскопф; он часто выступал с такими разъяснениями, поэтому его мнению можно доверять. Его высказывание справедливо и в отношении до сих пор не обнаруженной частицы, называемой бозоном Хиггса, и связанного с ней поля Хиггса, существование которых предсказано теоретически.

Бозон Хиггса, названный так по имени П. Хиггса из Эдинбургского университета, является основным недостающим звеном в стандартной модели элементарных процессов — господствующей в настоящее время теории, описывающей фундаментальные составляющие вещества и их взаимодействия. Согласно стандартной модели, все вещество состоит из кварков и лептонов, взаимодействующих друг с другом посредством четырех типов сил: гравитационных, электромагнитных, сильных и слабых. Сильное взаимодействие, например, связывает кварки в протоны и нейтроны; остаточное сильное взаимодействие объединяет протоны и нейтроны в ядра. Электромагнитное взаимодействие связывает ядра и электроны, относящиеся к лептонам, в атомы, а остаточное электромагнитное взаимодействие — атомы в молекулы. Слабое взаимодействие ответственно за определенные типы радиоактивного распада. Слабое и сильное взаимодействия короткодействующие: расстояние, на котором они действуют, не превышает радиуса атомного ядра. В отличие от них электромагнитное и гравитационное взаимодействия имеют бесконечный радиус действия, поэтому они наиболее изучены.

Несмотря на все, что известно о стандартной модели, есть основания считать ее неполной. Здесь-то и появляется бозон Хиггса. А именно введе-

ние бозона Хиггса в стандартную модель делает ее математически непротиворечивой и применимой к диапазону энергий, превышающих те, которые достижимы на современных ускорителях; однако эти энергии могут быть получены в будущем на новых ускорителях. По-видимому, происхождение масс всех элементарных частиц связано с их взаимодействием с бозоном Хиггса; образно говоря, частицы приобретают массу, «поглощая» бозон Хиггса.

Наиболее «слабым местом» бозона Хиггса является то, что до сих пор не обнаружено никаких экспериментальных подтверждений его существования. Напротив, имеется достаточно косвенных фактов, приводящих к предположению о том, что этот бозон не существует. И в самом деле, современная теоретическая физика постоянно заполняет «вакуум» всевозможными нововведениями, подобными бозону Хиггса, так что даже удивительно, как мы еще можем видеть звезды на ясном небе! Вполне возможно, что на ускорителях нового поколения будут получены прямые экспериментальные подтверждения существования бозона Хиггса и доказана правильность положений, обосновывающих его существование, однако мне кажется, что реальная картина значительно сложнее. Разумеется, я не считаю неверной всю стандартную модель; вероятнее всего, она является лишь приближением — хотя и хорошим — к реальности.

ХОТЯ единственным законным основанием для введения бозона Хиггса было стремление добиться математической непротиворечивости стандартной модели, гораздо больше внимания было уделено более доступному пониманию предположению о том, что эта частица порождает массы всех остальных частиц. С этого-то я и начну.

Для понимания того, как это происходит, необходимо разъяснить концепцию поля. Поле представляет собой физическую величину (например,

температуру), определяемую в каждой точке некоторой области пространства и времени (например, на поверхности сковороды). В физике термин «поле» чаще всего применяют к электромагнитному и гравитационному полям. Частицы взаимодействуют между собой, обмениваясь определенными промежуточными частицами-квантами соответствующего поля; например, частицами, переносящими электромагнитное взаимодействие, являются фотоны — кванты света. Переносчиками гравитационного, слабого и сильного взаимодействий являются соответственно гравитон (который пока не обнаружен), три промежуточных векторных бозона, известных под названием W^+ , W^- и Z^0 -частиц, и восемь глюонов. По-видимому, бозон Хиггса служит переносчиком взаимодействия, обусловленного полем Хиггса.

В настоящее время считают, что в пространстве существует постоянное поле Хиггса, т. е. космический вакуум не пустой, а содержит постоянное поле. Поле Хиггса взаимодействует с частицами, порождая их массу. В зависимости от силы взаимодействия с полем любая частица имеет некоторую потенциальную энергию. Согласно знаменитой формуле Эйнштейна $E = mc^2$ (энергия равна произведению массы на квадрат скорости света), эта энергия эквивалентна некоторой массе. Чем сильнее взаимодействие, тем больше масса.

Механизм, по которому частицы, взаимодействуя с полем Хиггса, приобретают массу, можно сравнить с поглощением чернил промокашкой. В этой аналогии кусочки бумаги соответствуют отдельным частицам, а чернила — энергии, или эквивалентной ей массе. Подобно тому как кусочки разного размера и толщины впитывают разное количество чернил, различные частицы «впитывают» разное количество энергии, или массы. Наблюдаемая масса частиц зависит от их «энергопоглощающей» способности и величины поля Хиггса в пространстве.

КАКОВЫ характеристики гипотетического поля Хиггса? Для возникновения массы частиц это поле (если оно существует) должно иметь постоянное ненулевое значение даже в вакууме. Кроме того, оно должно быть скалярным полем. Скалярное поле является одним из двух основных типов полей, описывающих взаимодействия между частицами; оно представляет собой поле, характеризующееся в каждой точке пространства одной величиной, т. е. числом. Другим типом поля является векторное поле, которое в каждой точке пространства характеризуется вектором и изображается стрелкой. Вектор имеет величину, изображаемую дли-

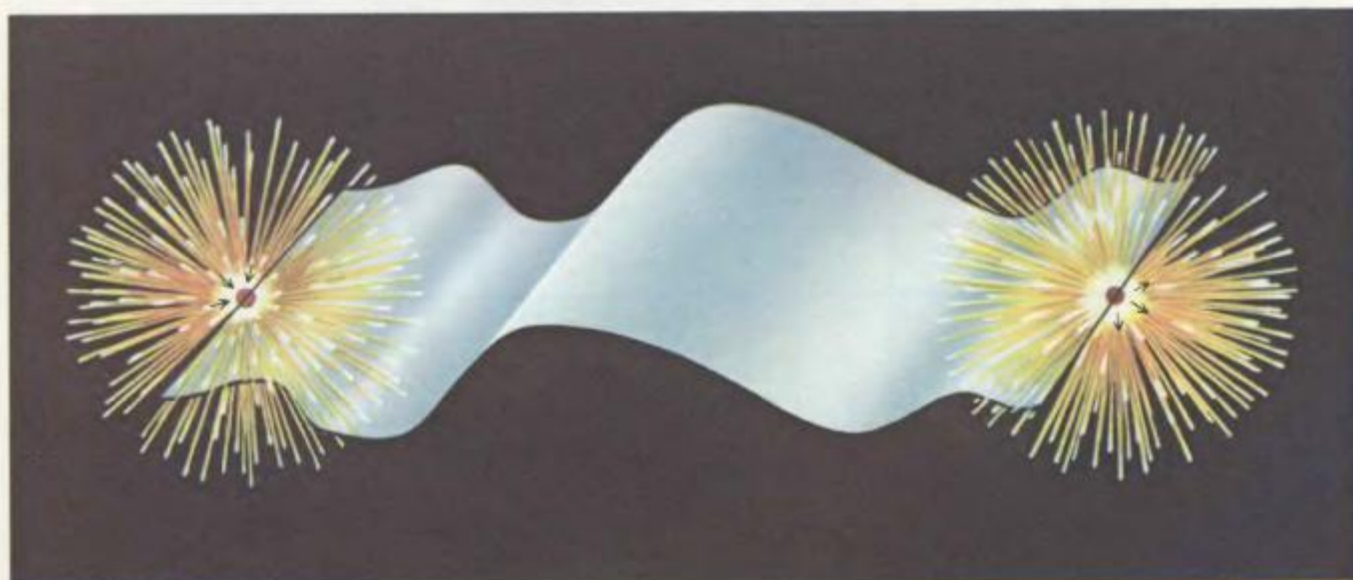
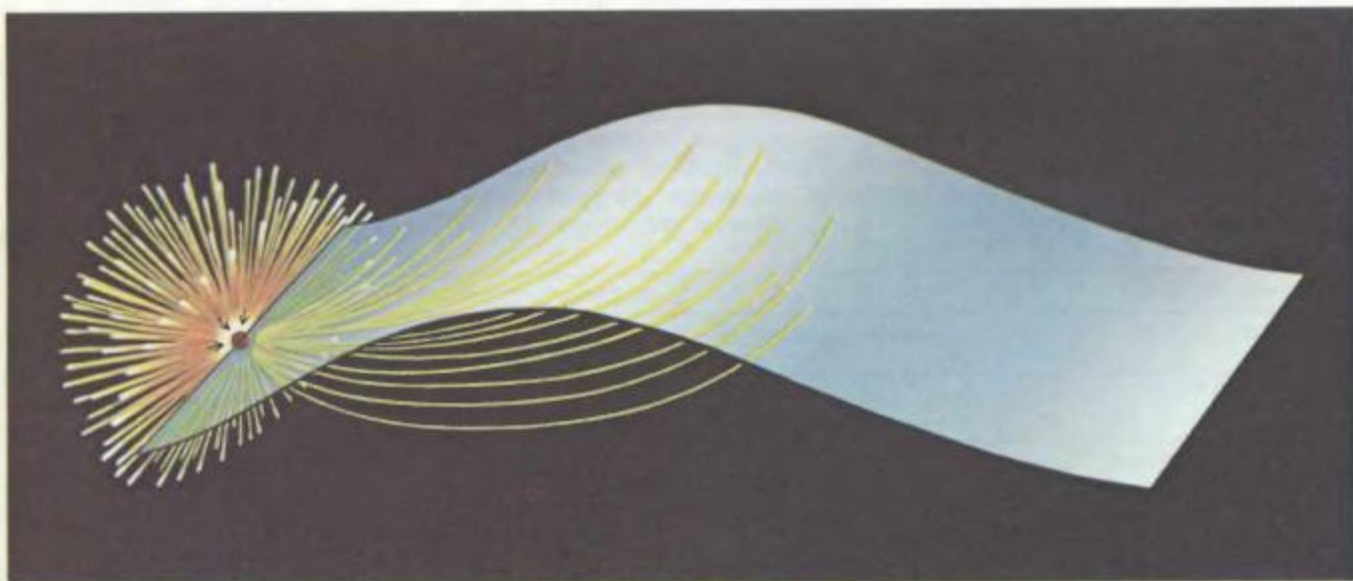
ной стрелки, и определенное направление. Электромагнитное, слабое и сильное поля являются векторными. (Гравитационное поле представляет собой особый объект — так называемое тензорное поле.)

Гипотетическое поле Хиггса должно быть скалярным, поскольку, если бы оно было векторным, масса частицы в общем зависела бы от ее ориентации относительно поля. Упрощенно такую ситуацию можно представить, если предположить, что масса человека меняется при его повороте на месте. Другими словами, поле Хиггса является «бесспиновым».

Поскольку поле Хиггса является бесспиновым, бозон Хиггса также не

должен иметь спина. Спин элементарной частицы представляет собой квантовомеханическую величину, аналогичную угловому моменту вращающегося шара. Он может иметь только целую (0, 1, 2 и т. д.) или полуцелую (1/2, 3/2 и т. д.) величину (в единицах постоянной Планка). Частицы с целым спином называют бозонами, а частицы с полуцелым спином — фермионами. Свойства бозонов и фермионов сильно различаются, однако я не буду подробно останавливаться на этом.

Бозон Хиггса называют скалярным бозоном, поскольку его спин равен нулю. Большинство других бозонов — переносчиков взаимодействий счита-



МАГНИТНЫЕ МОНОПОЛИ должны существовать, если существует бозон Хиггса. Согласно классическим представлениям, они не могут существовать, поскольку, как известно, при разрезании магнитного бруска на две части получаются два меньших магнита, а не отдельные северный и южный полюса. Однако в современной теории утверждается,

что магнитные монополи могут образовываться при «заматывании» силовых линий магнитного поля под хиггсовский «ковёр» (вверху). Внизу показана пара монополей. Хотя появились отдельные сообщения об обнаружении монополей, ни одно из них пока не подтвердилось.

ют векторными; они имеют спин 1, например фотон, глюон и W^+ , W^- и Z^0 -бозоны.

Поскольку с фундаментальными силами природы связаны векторные бозоны, а бозон Хиггса является скалярным, сила, посредством которой частицы взаимодействуют с полем Хиггса, должна быть какой-то новой силой. Она вводится с единственной целью — добиться математической непротиворечивости стандартной модели. С математической точки зрения сила Хиггса имеет те же свойства, что и так называемая «пятая сила», гипотеза о существовании которой была недавно опубликована Е. Фишбахом из Университета Пардю. Гипотетическая сила Хиггса, однако, слабее «пятой силы» и имеет меньший радиус действия.

Сила Хиггса не является универсальной, поскольку она по-разному действует на разные частицы. Сила взаимодействия некоторой частицы с полем Хиггса должна быть такой, чтобы в результате возникало точно наблюдаемое значение массы этой ча-

стицы. По-видимому, поле Хиггса не взаимодействует с фотоном, так как эксперименты свидетельствуют об отсутствии у фотона массы. Однако оно, по-видимому, взаимодействует с W^+ , W^- и Z^0 -частицами, поскольку они имеют массу. Следует подчеркнуть, что помимо массы, обусловленной взаимодействием с полем Хиггса, эти частицы могут обладать и собственной массой. Интересно, что в стандартной модели ни одна из частиц не может иметь собственную массу; в противном случае нарушится математическая полнота теории.

ПРЕДПОЛОЖИВ, что масса частиц возникает в результате их взаимодействия с бозоном Хиггса, мы не достигли многого с физической точки зрения. Например, неизвестно, почему поле Хиггса должно взаимодействовать сильнее с одними частицами и слабее с другими. Не ясно также, каково происхождение массы самого бозона (значение которой неизвестно), хотя и предполагают, что

она возникает в результате самодействия полей Хиггса. В этом смысле незнание происхождения наблюдаемых значений масс частиц подменяется незнанием силы их взаимодействия с полем Хиггса, что не дает почти никакого прогресса в понимании физической природы происхождения массы.

Кроме того, введение бозона Хиггса порождает серьезную проблему, связанную со «священным» гравитационным полем. Из эквивалентности массы и энергии следует, что гравитон, взаимодействующий с любыми массивными объектами, должен взаимодействовать и с любыми объектами, обладающими энергией, в частности с полем Хиггса. Так как поле Хиггса постоянно присутствует в пространстве, подобное взаимодействие должно было бы привести к огромному значению «космологической постоянной»: результатом этого должно было бы стать искривление Вселенной, которое сжало бы ее до размеров футбольного мяча. Если предположить, что масса бозона

ЛЕПТОНЫ				КВАРКИ			
НАЗВАНИЕ ЧАСТИЦЫ	ОБОЗНАЧЕНИЕ	МАССА ПОКОЯ, МэВ	ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД	НАЗВАНИЕ ЧАСТИЦЫ	ОБОЗНАЧЕНИЕ	МАССА ПОКОЯ, МэВ	ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД
ЭЛЕКТРОННОЕ НЕЙТРИНО ЭЛЕКТРОН	ν_e e^-	ОКОЛО 0 0,511	0 -1	UP DOWN	u d	310 310	+ 2/3 - 1/3
МЮОННОЕ НЕЙТРИНО МЮОН	ν_μ μ^-	ОКОЛО 0 106,6	0 -1	CHARM STRANGE	c s	1 500 505	+ 2/3 - 1/3
ТАУ-НЕЙТРИНО	ν_τ	< 164	0	TOP/TRUTH	t	ГИПОТЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТИЦА, >22 500	+ 2/3
ТАУ-ЛЕПТОН	τ^-	1 784	-1	BOTTOM/BEAUTY	b	ОКОЛО 5000	- 1/3

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ	РАДИУС ДЕЙСТВИЯ	СИЛА НА РАССТОЯНИИ 10^{-13} СМ ПО СРАВНЕНИЮ С СИЛЬНЫМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ	ПЕРЕНОСЧИКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ	МАССА ПОКОЯ, ГэВ	СПИН	ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД	ПРИМЕЧАНИЯ
ГРАВИТАЦИОННОЕ	БЕСКОНЕЧНО БОЛЬШОЙ	10^{-38}	ГРАВИТОН	0	2	0	ГИПОТЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТИЦА
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ	БЕСКОНЕЧНО БОЛЬШОЙ	10^{-2}	ФОТОН	0	1	0	НЕПОСРЕДСТВЕННО НАБЛЮДАЛСЯ
СЛАБОЕ	НЕ ПРЕВЫШАЕТ 10^{-16} СМ	10^{-13}	ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ВЕКТОРНЫЕ БОЗОНЫ:	W^+ 81 W^- 81 Z^0 93	1 1 1	+1 -1 0	НЕПОСРЕДСТВЕННО НАБЛЮДАЛСЯ НЕПОСРЕДСТВЕННО НАБЛЮДАЛСЯ НЕПОСРЕДСТВЕННО НАБЛЮДАЛСЯ
СИЛЬНОЕ	НЕ ПРЕВЫШАЕТ 10^{-13} СМ	1	ГЛЮОНЫ	0	1	0	НЕ СУЩЕСТВУЮТ В СВОБОДНОМ СОСТОЯНИИ

СОГЛАСНО СТАНДАРТНОЙ МОДЕЛИ, существует 12 фундаментальных составляющих вещества (вверху) и четыре взаимодействия (внизу). Составляющие вещества делятся на две группы по шесть частиц в каждой: лептоны и кварки. Свободные лептоны существуют, в то время как кварки не могут существовать в свободном состоянии. Они всегда входят в состав больших частиц, таких, как протоны и нейтроны; например, протон состоит из двух u -кварков и одно-

го d -кварка. Частицы взаимодействуют между собой посредством четырех сил. Для каждой силы в свою очередь имеется частица — переносчик этой силы (ее называют бозоном). Сила, или взаимодействие Хиггса, если она существует, будет пятой; ее переносчиком должен быть бозон Хиггса. Массы элементарных частиц даны в миллионах электронвольт (МэВ), а массы бозонов — в миллиардах электронвольт (ГэВ).

Хиггса примерно равна массам промежуточных векторных бозонов, то тогда плотность энергии поля Хиггса в вакууме должна быть в 10 триллионов раз больше плотности ядерного вещества. Если бы Землю можно было сжать до такой плотности, то ее объем составил бы примерно 500 см^3 . Нужно ли говорить, что это не соответствует действительности?

Теоретики нашли оригинальный выход из этого противоречия. Они предположили, что «истинный» вакуум (т. е. вакуум, в котором нет поля Хиггса) имеет отрицательную кривизну: его космологическая постоянная равна по величине и противоположна по знаку космологической постоянной, порожденной полем Хиггса. Тогда при наличии поля Хиггса пространство должно стать плоским и Вселенная приобретет знакомые нам черты. Такое положение нельзя считать удовлетворительным, поэтому было предложено множество остроумных решений проблемы огромной космологической постоянной. Ни одна из этих попыток не имела успеха. Что бы ни изобретали теоретики, задача не упрощалась, поскольку они продолжали «засорять» вакуум новыми полями и частицами. Вселенная могла стать плоской в результате каких-то динамических процессов при расширении после Большого взрыва, который, как полагают, произошел примерно 15–20 млрд. лет назад и привел к образованию Вселенной.

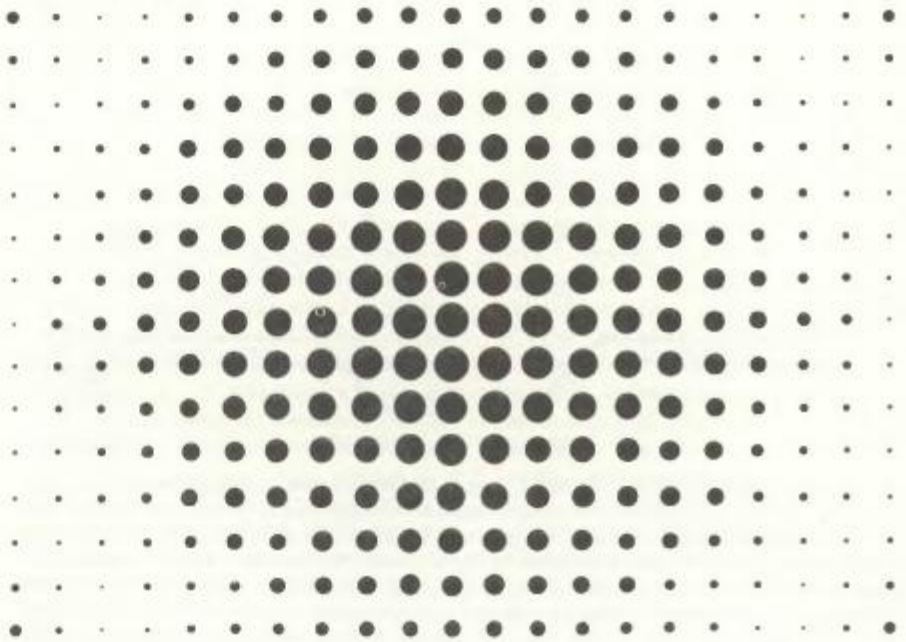
Теория в своем первоначальном виде — с одним полем Хиггса — не вступает в явное противоречие с наблюдениями, даже несмотря на необходимость объяснения невероятного уменьшения космологической постоянной. В последнее десятилетие предложены обобщения этой теории, в которых вводятся дополнительные поля Хиггса. И хотя имеются некоторые аргументы в пользу таких обобщений, связанные с этими полями явления либо никогда не наблюдались, либо противоречат экспериментальным данным.

Так, Х. Куинн из Станфордского ускорительного центра (SLAC) и Р. Печчи из лаборатории DESY (Deutsches Elektronen-Synchrotron) в Гамбурге предложили ввести второе поле Хиггса, которое дает элегантное объяснение некоторых симметрий, наблюдаемых в сильных взаимодействиях. Вытекающая из этого предположения теория предсказывает существование новой, вероятно, очень легкой частицы, названной аксионом. Однако, несмотря на интенсивные поиски, аксион не был обнаружен. Кроме того, эта теория имеет драматические космологические

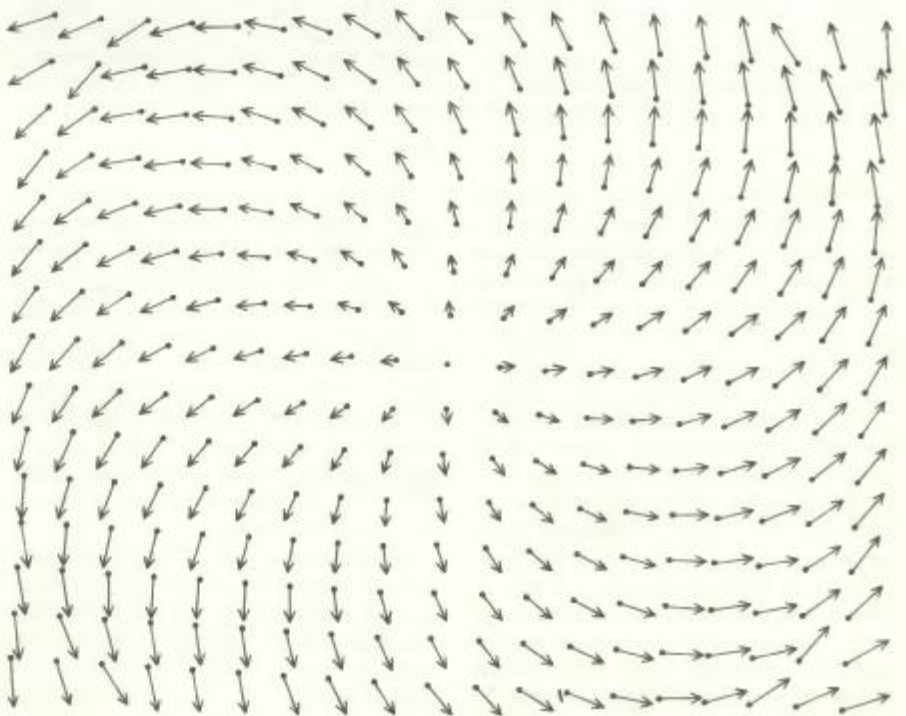
следствия, связанные с так называемыми «доменными стенками». Вообще «стенки», или границы между доменами, используют для обозначения поверхности соприкосновения двух

областей с разными свойствами. Границы между доменами есть, например, в постоянных магнитах; они разделяют области с различной ориентацией магнитных моментов атомов.

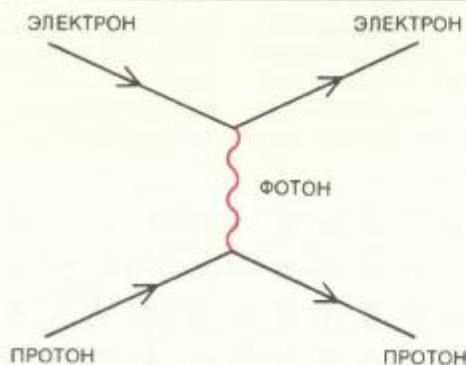
СКАЛЯРНОЕ ПОЛЕ



ВЕКТОРНОЕ ПОЛЕ



ПОЛЯ играют важную роль в описании взаимодействия частиц друг с другом. Поле представляет собой физическую величину (например, температуру), определенную в каждой точке некоторой области пространства и времени (например, на поверхности сковороды). Поля бывают скалярные (*вверху*) и векторные (*внизу*). Скалярным называют поле, характеризующееся в каждой точке пространства одной величиной, т. е. числом; на рисунке оно показано точками. Векторное поле характеризуется величиной, которой соответствует длина стрелки, и направлением, которому соответствует положение конца стрелки в пространстве. Электромагнитное, слабое и сильное поля являются примерами векторного поля; поле Хиггса, если оно существует, — скалярное поле. (Гравитационное поле представляет особый объект — так называемое тензорное поле.)



ФЕЙНМАНОВСКИЕ ДИАГРАММЫ представляют собой графическое изображение строго определенной математической процедуры определения вероятности рассеяния одной частицы на другой. На верхнем рисунке показано рассеяние электрона на протоне, происходящее путем обмена фотоном — переносчиком электромагнитного взаимодействия. Частицы могут рассеиваться также, обмениваясь двумя и более фотонами (*не показано*); такой обмен статистически менее вероятен, поэтому однофотонный обмен является хорошим приближением к реальности. Фотон может рассеиваться и на электроне. Для изображения такого процесса необходимы две диаграммы (*нижний рисунок*). В этом случае неудобно описывать рассеяние в терминах взаимодействий; гораздо удобнее это делать в терминах элементарных процессов: фотон может поглощаться или испускаться электроном. Однако между электрон-протонным и электрон-фотонным рассеянием не существует принципиальной разницы; и тот и другой процесс можно рассматривать как элементарный процесс.

СЧИТАЮТ, что в ранней Вселенной поля Хиггса могли бы привести к образованию стенок доменов. На ранних этапах существования Вселенной температура была чрезвычайно высока, и поля Хиггса, как полагают, тогда не существовали. Через некоторое время Вселенная достаточно остыла для того, чтобы могло возникнуть фоновое поле Хиггса. Если только охлаждение не было абсолютно равномерным, что маловероятно, свойства поля Хиггса должны быть разными в различных областях пространства. Решение вопроса о том, к каким наблюдаемым последствиям или невероятным явлениям могло привести столкновение таких областей, зависит от детальных свойств полей Хиггса, однако на основании интересных предположений Куинн и Печенн определенные виды подобных столкновений можно считать возможными*.

* Образование вакуумных доменов, свойства стенок и их влияние на эволюцию Вселенной впервые рассмотрено в 1974 г. Я. Б. Зельдовичем, И. Ю. Кобзаревым и Л. Б. Окунем. — *Прим. ред.*

Не ясно, почему не были обнаружены стенки между такими областями. Это может означать, что поле Хиггса не существует или что природа очень осторожно им «пользуется». Эти границы могли также исчезнуть в ходе эволюции Вселенной. Вообще довольно типична такая ситуация: строится какая-либо изящная теория, затем в нее включается поле Хиггса и все построение рушится. Разумеется, это внушает мало доверия к механизму Хиггса в целом.

Введение бозона Хиггса создает также дополнительные трудности в так называемой $SU(5)$ -теории Великого объединения, привлекающей к себе пристальное внимание. Целью этой и подобных ей теорий является попытка представить три известных взаимодействия — электромагнитное, сильное и слабое — как проявления одного фундаментального взаимодействия. На этом пути за последние 20 лет был достигнут значительный прогресс: разработана и проверена теория электрослабого взаимодействия. В этой теории утверждается, что электромагнитное и слабое взаимодействия представляют разные про-

явления одного взаимодействия — электрослабого. Блестящим подтверждением этой теории было обнаружение в 1983 г. в ЦЕРНе (Европейском центре ядерных исследований) W^+ -, W^- - и Z^0 -частиц.

В $SU(5)$ -теории Великого объединения сделана попытка объединить электрослабое и сильное взаимодействия; обозначение $SU(5)$ связано с математической группой симметрий, лежащих в основе этой теории. Согласно ей, сильное, слабое и электромагнитное взаимодействия, свойства которых при обычных условиях очень различны, становятся неотличимыми при энергиях взаимодействия частиц порядка 10^{15} млрд. электронвольт (ГэВ).

Объединение сильного и электрослабого взаимодействий требует введения дополнительного набора векторных бозонов, массы которых должны быть на несколько порядков больше масс векторных бозонов слабого взаимодействия. Поэтому они должны взаимодействовать со своим полем Хиггса. Следовательно, $SU(5)$ -теория предполагает наличие в вакууме двух полей Хиггса, которые по-разному взаимодействуют с различными частицами.

Наиболее важным следствием $SU(5)$ -теории является возможность превращения кварков (через набор новых бозонов) в лептоны. Отсюда следует, что протон — это «бессмертное» объединение трех кварков — может распасться на более легкие частицы, например на позитрон (положительно заряженный электрон, принадлежит к классу лептонов) и частицу под названием пион. Если предположить существование двух полей Хиггса, то можно рассчитать скорость распада. Однако в проведенных в последние годы экспериментах распад протона не обнаружен (см. статью: Дж. Ло Секко, Ф. Рейнс, Д. Синклер. В поисках распада протона, «В мире науки», 1985, № 8). Возможно, $SU(5)$ -теория или теория полей Хиггса (а может быть, и обе они) в чем-то неверны. Однако я считаю, что $SU(5)$ -теория выдержит проверку временем.

Кроме того, если предположить, что $SU(5)$ -теория верна и поле Хиггса существует, то тогда в первые 10^{-35} с существования Вселенной должны были образоваться магнитные монополи. Примером магнитного монополя может служить полюс обычного магнита, отделенный от другого полюса. (Согласно классической физике, такие объекты не могут существовать: если магнитный брусок распилить пополам, мы получим два новых магнитных бруска, а не северный и

южный полюса магнита отдельно.) Среди сторонников $SU(5)$ -теории нет единства в вопросе о строении монополя и количестве монополей во Вселенной; общепризнанным считается тот факт, что монополи должны иметь невероятно большую для элементарной частицы массу, возможно порядка 10^{16} — 10^{17} масс протона. Периодически появляются сообщения об обнаружении магнитных монополей, однако ни одно из них до сих пор не подтвердилось. Похоже, что природа не любит все, что хоть как-нибудь связано с полем Хиггса. Поиски монополей продолжают (см. статью: Richard A. Carrigan, Jr., W. Peter Trower. Superheavy Magnetic Monopoles, «Scientific American», April 1982).

Дальнейшее беглое рассмотрение имеющихся фактов свидетельствует о том, что в природе чрезвычайно скупо используются — если вообще используются — поля Хиггса. Например, в электрослабой теории введение простейшего поля Хиггса приводит к возникновению связи между массами W^- -бозонов и Z^0 -бозона. Эта связь математически выражается в виде величины, называемой параметром ρ , который представляет собой отношение квадратов массы W^- - и Z^0 -бозонов. (В это выражение входит еще поправочный множитель, который в данный момент мы не рассматриваем.) Ожидаемое значение параметра ρ равно 1; из экспериментов было получено значение 1,03 с погрешностью 5%. Если существует больше чем одно поле Хиггса, то параметр ρ может принимать любое значение. Если предположить, что совпадение между теорией и экспериментом не является случайным, можно прийти к такому выводу: существует единственное поле Хиггса.

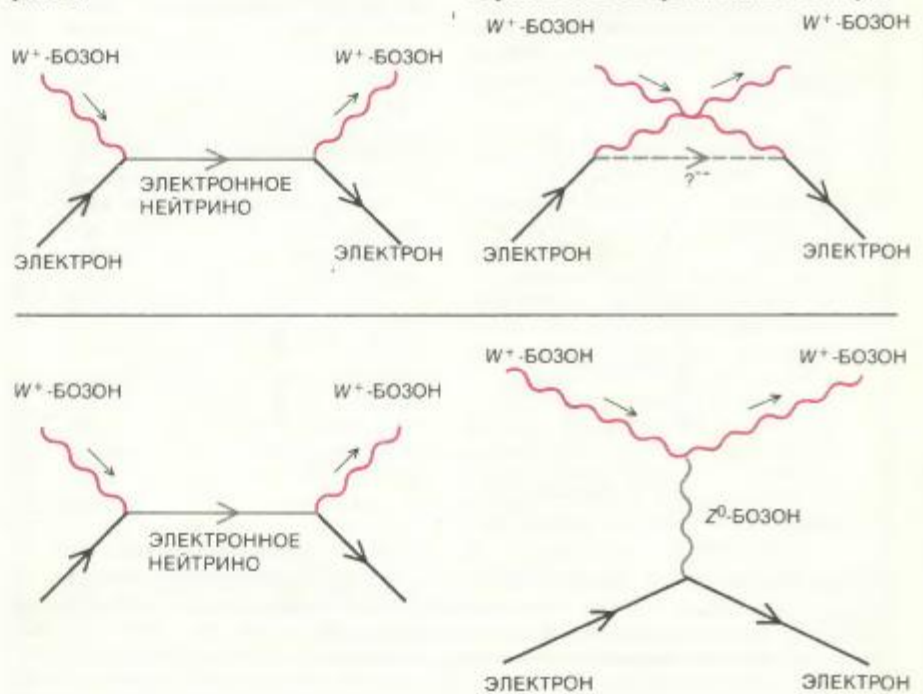
ЗДЕСЬ необходимо рассмотреть вопрос о том, действительно ли существует бозон Хиггса. Выше уже отмечалось, что единственным основанием для его введения является стремление к математической непротиворечивости стандартной модели. Исторически этот мотив никак не связан с введением бозона для объяснения происхождения массы частиц. Его введение с последней целью может служить примером того направления в физике, которое можно было бы назвать «построением моделей». Это направление проявляется в построении новых моделей, которые описывают природу все более точно. В этом направлении работали, например, С. Бладмэн из Пенсильванского университета, создавший ядро теории W -бозонов, и Ш. Глэшоу из Гарвардского университета, включивший элек-

тромагнетизм в модель Бладмэна. С. Вайнберг из Техасского университета в Остине, используя методы, развитые Т. Кибблом из Имперского колледжа науки и техники в Лондоне, заменил ту часть теории, которая рассматривает вопрос о массе частиц на модель, в которой происхождение массы обусловлено полем Хиггса. Н. Кабиббо и Л. Маиани из Римского университета, Ю. Хара из Университета г. Цукуба, Глэшоу и Дж. Илиопулос из Высшей нормальной школы в Париже объединили теорию кварков и теорию векторных бозонов.

Все эти работы были опубликованы на протяжении довольно длительного периода с 1959 по 1970 г. В то же время были опубликованы и другие работы, содержавшие попытки построения моделей, но ни одна из них, включая и те, на которые я ссылался выше, не привлекла внимания физиков. Авторы большинства работ сами не очень верили в свои теории и в дальнейшем никогда этими вопросами не занимались (за исключением Глэшоу и Илиопулоса). Причина этого очевидна: ни одна теория не позволяла ничего рассчитать. Использование существовавших в то время методов и математического аппарата приводило к бессмысленным результатам, которые не позволяли предсказать какие-либо экспериментальные факты.

При рассмотрении этой области исследований в 1968 г. я пришел к выводу, что для понимания природы слабых взаимодействий было бы полезно использовать теории Янга—Миллса (обширный класс теорий, одним из примеров которых может служить стандартная модель) и что до тех пор, пока не будут разрешены существующие математические трудности, невозможно достичь какого-либо прогресса. Поэтому я начал работать в направлении, которое назвал «направлением математической теории»; при этом основное внимание уделяется не экспериментальной проверке теории, а ее математическому содержанию. Я, без сомнения, не был первопроходцем этого направления. У его истоков стояли И. Янг и Р. Миллс из Брукхэйвенской национальной лаборатории. Значительный вклад в разработку этого направления внесли Р. Фейнман из Калифорнийского технологического института, Л. Д. Фаддеев из Ленинградского университета (СССР), Б. де Витт из Университета шт. Северная Каролина и С. Манделштам из Калифорнийского университета в Беркли.

Мне не удалось довести эту работу до конца. Основные полученные выводы были опубликованы в 1971 г. в диссертации моего бывшего студента Г.т Хофта из Утрехтского университета. В то время мало кто из уче-



ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ ВЕКТОРНЫЙ БОЗОН, переносчик слабого взаимодействия, может рассеиваться на электроне примерно аналогично тому, как это происходит с фотоном (см. нижний рисунок на с. 42). Взаимодействие, показанное сверху справа, желателен с математической точки зрения, но оно потребовало бы существования отрицательно заряженной частицы с зарядом, вдвое превышающим заряд электрона. Однако такая частица не обнаружена. Проблема была решена путем введения нейтральной частицы, получившей название Z^0 -бозона (внизу справа). Ее существование было доказано.

ных верил в перспективность наших работ. Не раз мне деликатно говорили, что я, пользуясь выражением С. Коулмана из Гарвардского университета, «ловлю рыбу в мутной воде теории слабых взаимодействий». Заметным исключением была группа советских ученых под руководством

Е. С. Фрадкина из Физического института АН СССР им. Л. Н. Лебедева, работы которой внесли существенный вклад в теорию.

ИНТЕРЕСНО отметить, что на протяжении многих лет направление построения моделей и направ-

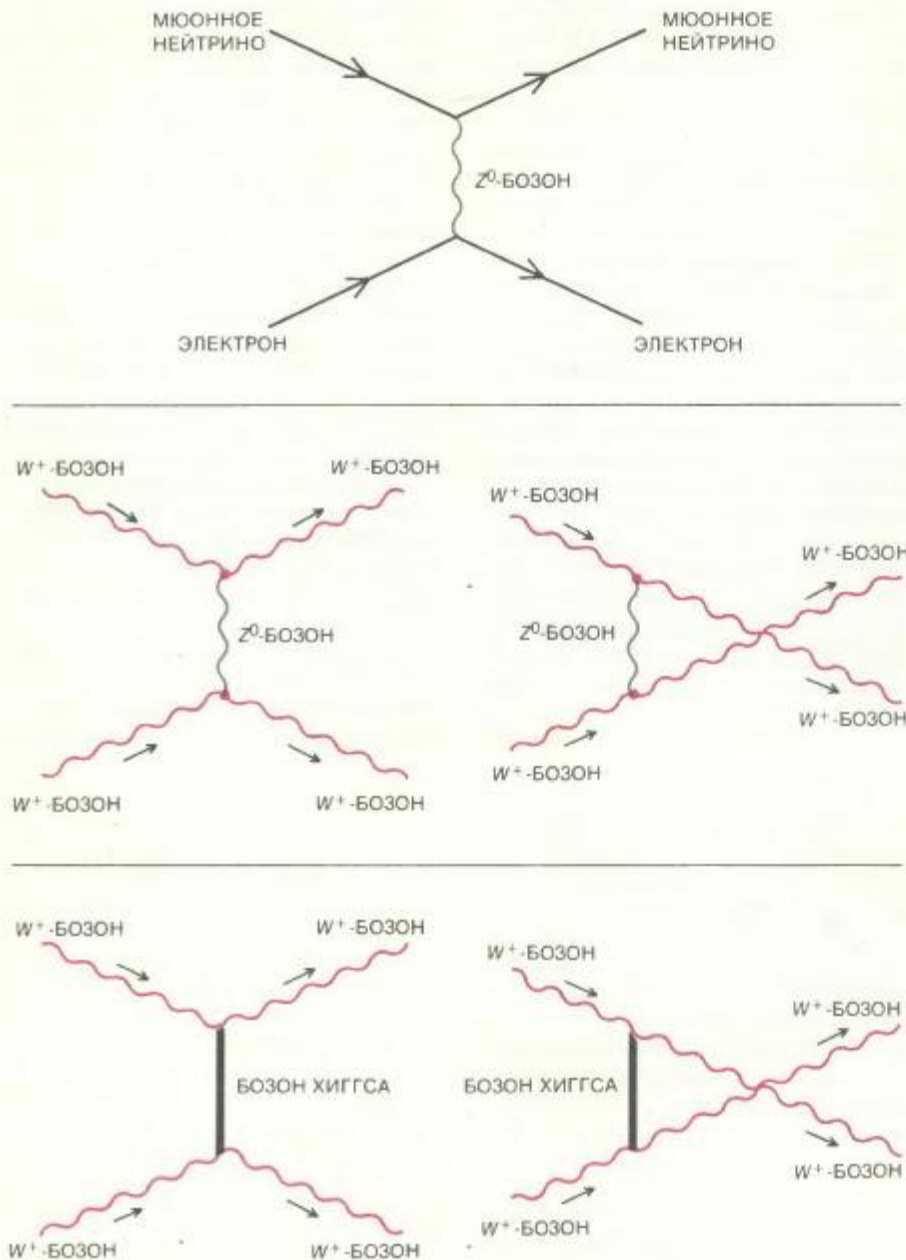
ление математической теории развивались параллельно, практически не взаимодействуя друг с другом. Должен признаться, что до 1971 г. я, как, впрочем, и 'т Хоофт, ничего не знал об использовании бозонов Хиггса при построении моделей. Я отчетливо помню, как однажды сказал ему, что его работа имеет какую-то связь с теоремой Голдстоуна (появившейся в рамках направления построения моделей). Поскольку ни один из нас не знал этой теоремы, мы в течение нескольких минут безучастно смотрели друг на друга, а потом решили об этом не беспокоиться. В очередной раз успех пришел в ситуации «не знаю как» (это выражение придумал В. Вайскопф).

В результате прогресса в направлении математической теории теория электрослабого взаимодействия приобрела математическую завершенность, а с введением в нее бозона Хиггса — и большую способность предсказывать новые явления. В частности, бозон Хиггса «делает» эту теорию перенормируемой: это означает, что, задавшись некоторым числом параметров, можно с любой желаемой точностью рассчитать наблюдаемые величины. Неперенормируемая теория, напротив, обладает ограниченной предсказательной способностью; такая теория неполна и дает абсурдные решения некоторых задач.

Однако необходимо отметить, что и без введения бозона Хиггса электрослабая теория может давать надежные предсказания о взаимодействиях между элементарными частицами. Физики, исследующие высокие энергии, изучают эти взаимодействия с помощью экспериментов по рассеянию. Поток частиц высоких энергий направляют на частицу-«мишень»; например, поток электронов может рассеиваться на протоне. Анализируя картину рассеяния падающих частиц, можно получить определенную информацию о действующих между ними силах.

В теории электрослабого взаимодействия успешно предсказывается картина взаимодействия электронов с протонами, а также с фотонами, W -бозонами и нейтрино. Однако, когда речь заходит о взаимодействии W -бозонов друг с другом, для этой теории возникают трудности. В частности; она предсказывает, что вероятность рассеяния одного W -бозона на другом при достаточно высоких энергиях больше 1. Такой вывод абсурден; это утверждение аналогично тому, как если бы мы сказали, что метатель копьей, прицелившись в противоположном от цели направлении, обязательно попадет в «яблочко».

Ситуацию спасает бозон Хиггса: он



ПЕРЕНОРМИРУЕМАЯ ТЕОРИЯ электрослабого взаимодействия требует существования бозона Хиггса. Перенормируемой называется такая теория, которая может быть применена для расчета наблюдаемых величин с любой точностью при заданном минимальном наборе параметров. Неперенормируемая теория, напротив, обладает ограниченными предсказательными возможностями: такая теория неполна и дает абсурдные решения для некоторых задач. Без использования бозона Хиггса теория успешно описывает рассеяние нейтрино на электронах (*вверху*). Однако когда речь идет об описании взаимодействия W -бозонов друг с другом, теория сталкивается с существенными трудностями (*в середине*). В частности, она предсказывает, что вероятность рассеяния одного W -бозона на другом при энергиях, превышающих триллион электронвольт (ТэВ), больше 1. Такой результат абсурден. Теория становится перенормируемой после введения бозона Хиггса (*внизу*). Правдоподобное предсказание можно получить, если «вычесть» нижнюю серию рисунков из средней.

взаимодействует с W -бозонами таким образом, что вероятность рассеяния оказывается в допустимых пределах; она равна определенному фиксированному значению, заключенному между 0 и 1. Другими словами, включение бозона Хиггса в электрослабую теорию позволяющая «исправить плохое поведение» W -бозонов. Более обстоятельное описание того, как бозон Хиггса «делает» электрослабую теорию перенормируемой, требует использования специальной техники фейнмановских диаграмм (см. серию рисунков, начиная со с. 42 и кончая рисунком на с. 44).

ВООРУЖИВШИСЬ пониманием необходимости введения бозона Хиггса для перенормируемости теории электрослабого взаимодействия, легко понять, какой эксперимент надо осуществить для обнаружения этой призрачной частицы: промежуточные векторные бозоны должны рассеиваться друг на друге при чрезвычайно высоких энергиях — не меньше триллиона электронвольт (ТэВ). Такие энергии могут быть достигнуты на предложенном американскими физиками сверхпроводящем суперколлайдере (SSC), рассчитанном на энергию 20 ТэВ, проект которого сейчас рассматривается в США (см. статью: Д. Джексон, М. Тигнер, С. Войчицки. Сверхпроводящий суперколлайдер, «В мире науки», 1986, № 5). Если наблюдаемая картина рассеяния совпадает с предсказаниями перенормируемой теории электрослабого взаимодействия, то, следовательно, существует некая компенсирующая сила, обусловленная, вероятно, бозоном Хиггса. Если же наблюдаемая картина рассеяния не совпадает с предсказанной, то, по-видимому, векторные бозоны взаимодействуют между собой посредством сильного взаимодействия; тогда появится новая область физики.

Основная трудность при поиске бозона Хиггса состоит в том, что ничего не известно о его массе. Из экспериментов следует, что она должна быть больше 5 ГэВ. Теория не дает предположений об этом, за исключением следующего соображения: если бы масса бозона была больше 1 ТэВ (что эквивалентно примерно 1000 масс протона), то его присутствие в теории порождало бы те же трудности, для преодоления которых он был введен. В этом случае промежуточные векторные бозоны уже нельзя было бы рассматривать как элементарные частицы; они могут быть составными объектами и включать еще более элементарные частицы.

Представление о составной струк-

туре частиц не является новым в истории физики. В начале статьи я перечислил пять известных структурных уровней вещества: молекулы, атомы, ядра, нуклоны (протоны и нейтроны) и кварки с лептонами.

Рассмотрение бозона Хиггса как составного объекта представляет собой лишь небольшой шаг на пути описания в качестве сложных структур таких «фундаментальных» частиц, как кварки и лептоны (см. статью: Х. Харари. Структура кварков и лептонов, «В мире науки», 1983, № 6). В некотором смысле, вводя понятие шестого структурного уровня вещества, лежащего ниже кварков и лептонов, мы приходим к тому, с чего начали. Рас-

смотрение строения вещества на все более глубоком уровне традиционно было способом объяснения природы свободных параметров. Успех составных моделей в предсказании энергетических уровней атома и ядра приводит к мысли о возможности аналогичного подхода к объяснению наблюдаемых значений масс. Тот факт, что в стандартной модели бозон Хиггса ответствен за появление масс частиц, означает, что, даже если сам бозон в конечном итоге не существует, обязательно должен существовать источник всех масс. Вероятно, поиски бозона Хиггса окажутся одновременно поисками новых элементарных частиц.

Издательство **МИР** предлагает:

ХРОМАТОГРАФИЯ ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ МЕТОДА

В двух частях
Под редакцией Э. Хефтмана
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-хроматографиста, 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 хроматографисту 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.



Лазерно-индуцированные процессы в атомах и молекулах

Под действием лазерных импульсов, длины волн которых настроены в резонанс с последовательностью квантовых переходов атома или молекулы

в высоковозбужденные состояния, возможна избирательная ионизация атомов или диссоциация молекул определенного типа.

На таких процессах фотоионизации и фотодиссоциации основаны новые применения лазеров — ультрачувствительная спектроскопия и лазерная атомно-молекулярная технология

В. С. ЛЕТОХОВ

СПЕКТР СВЕТА — это язык, на котором «говорят» атомы и молекулы. За последние 100 лет были изучены спектры испускания и поглощения света всех атомов периодической таблицы Д. И. Менделеева и огромного числа молекул. С появлением лазера — универсального источника когерентного, мощного, монохроматического, управляемого по всем параметрам света — начался следующий этап исследований: использование спектров разных атомов и молекул для управления атомно-молекулярными процессами с помощью лазерного излучения. Открывающиеся при этом возможности представляют большой интерес для науки и техники.

Для пояснения этого нового этапа можно привести простую аналогию. Представим себе многоязычную толпу сотен людей разных национальностей, например библейских строителей Вавилонской башни, которые для нас символизируют атомы и молекулы различных типов. Тысячи ученых классифицировали и изучили все языки этой толпы, применяя самые изощренные методы экспериментов и расчетов, и теперь в нашем распоряжении словари всех языков. Раньше, чтобы распознать в толпе человека одной национальности, например эстонца, мы должны были «сортировать» толпу, вглядываясь в лица и вслушиваясь в разговор всех людей по очереди. Теперь же появилась альтернативная возможность — обратиться к толпе сразу на нужном, например

эстонском, языке и попросить человека этой национальности поднять руку или выйти из толпы. Так и лазерный свет с набором определенных длин волны позволяет осуществить резонанс с атомом или молекулой нужного сорта, обнаружить их в смеси и даже выделить. Более того, такой лазерный резонанс высоко избирателен, так как «чувствует» малейшие «диалекты» языка атомов и молекул и позволяет обнаруживать и выделять атомные частицы, которые очень незначительно отличаются друг от друга, например только изотопным или изомерным составом ядер.

Как же осуществляется на квантовом языке «разговор» лазерного луча с атомными частицами? Когда длина волны (частота) лазерного света попадает в резонанс с частотой какого-либо квантового перехода, характерного для выбранной атомной частицы, происходят индуцированные, или стимулированные, лазерным излучением резонансные процессы, в которых поглощаются и испускаются лазерные фотоны. На них основаны описанные ниже лазерно-индуцированные методы ионизации атомов и диссоциации молекул и их применения.

Резонансная ионизация атома

Ионизацией атома называют процесс отрыва одного из его электронов, при котором атом превращается в ион. Чтобы ионизовать атом, его электронная оболочка должна полу-

чить энергию, превышающую энергию связи удаляемого электрона с ионом, которую называют потенциалом ионизации. Для электрона внешней (оптической) электронной оболочки потенциал ионизации разных атомов меняется от 4—5 эВ (щелочные элементы) до 12—24 эВ (инертные газы). Ионизовать атом можно разными способами: при столкновении с другими частицами, например с электронами, соударении с горячей поверхностью или столкновении с фотонами. Последний процесс называют фотоэлектрическим эффектом (фотоэффектом) или фотоионизацией.

Чтобы понять процесс фотоионизации, особенно резонансной ионизации лазерным излучением, удобно представить зависимость потенциальной энергии электрона в электрическом поле положительного иона от расстояния между ними (см. рисунок на с. 48 внизу). На бесконечно большом расстоянии ион и электрон не связаны: атом находится в ионизованном состоянии или, как говорят специалисты, в ионизационном континууме квантовых состояний. В другом предельном случае атом находится в основном электронном состоянии, когда электрон расположен на минимально возможном расстоянии от иона, определяемом соотношением неопределенностей Гейзенберга. Энергия электрона в такой потенциальной яме квантована, т. е. в интервале между границей ионизации и основным состоянием с минимальной энергией существует последователь-

ность дискретных уровней энергии электрона. Квантовые переходы между ними обуславливают спектр испускания (переходы с верхних уровней на нижние) или поглощения (переходы с нижних уровней на верхние).

Резонансная ионизация атома через промежуточное возбужденное состояние при ступенчатом поглощении двух (трех) фотонов обладает несколькими преимуществами по сравнению с обычной нерезонансной фотоионизацией при поглощении одного фотона.

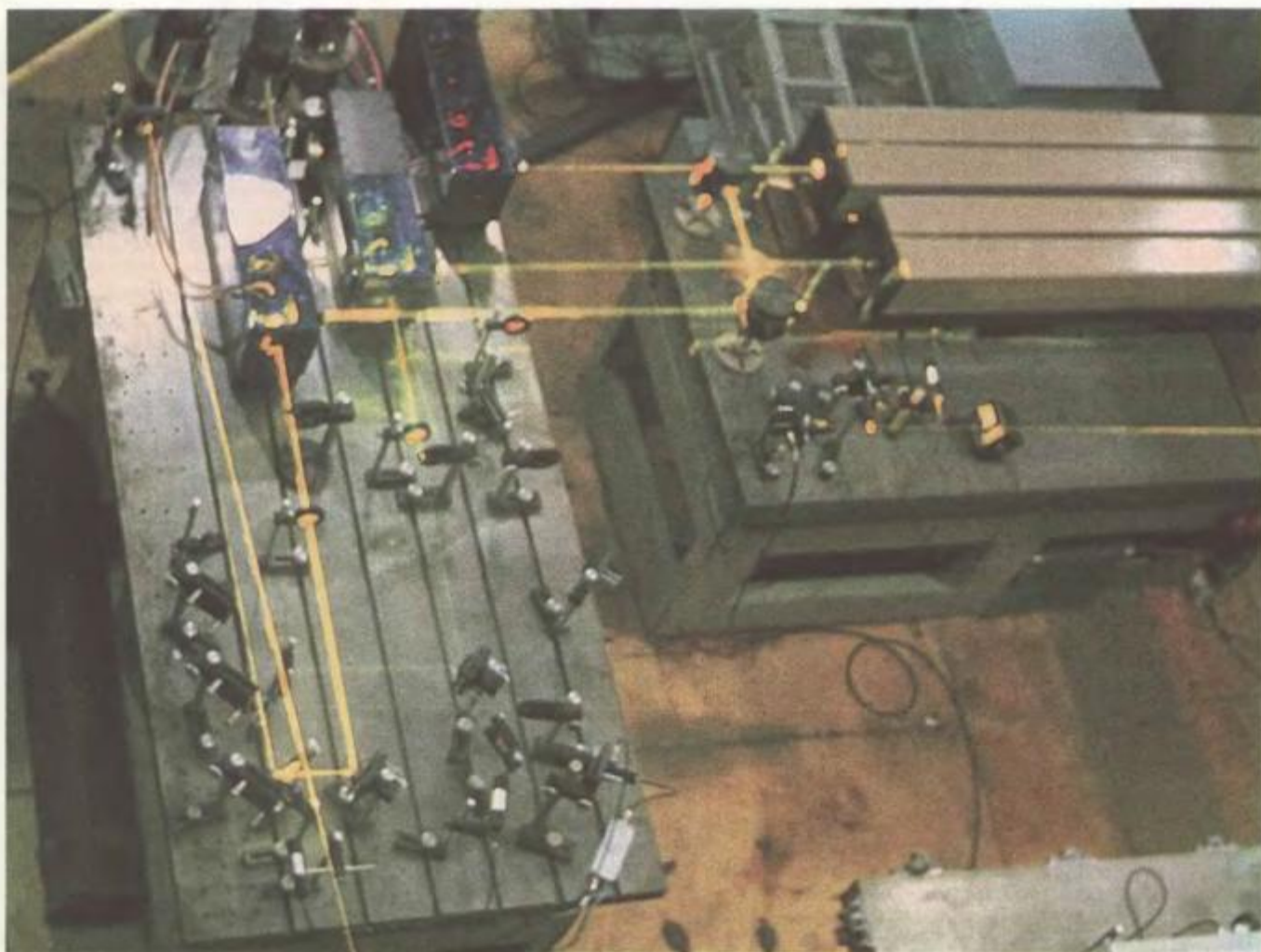
Во-первых, ионизация через резонансно-возбужденное состояние представляет собой *резонансный* процесс, так как она возможна только после резонансного перехода атома в возбужденное состояние. Степень его избирательности (селективности) опре-

деляется шириной спектральной линии резонансного возбуждения, которая может быть исключительно малой.

Во-вторых, ступенчатая ионизация позволяет конвертировать нейтральный атом в ион с высокой вероятностью: вплоть до 100% за однократное облучение. Это возможно за счет высокой интенсивности и малой длительности лазерных импульсов. Например, для резонансного возбуждения атома достаточно облучить его импульсом длительностью короче времени распада возбужденного состояния $\tau_{\text{возб}} = 10-100$ нс и потоком энергии $10^{-6}-10^{-3}$ Дж/см², т. е. с интенсивностью всего $10-10^5$ Вт/см². Процесс стимулированного перехода возбужденного атома в ионизационный континуум имеет нерезонансный

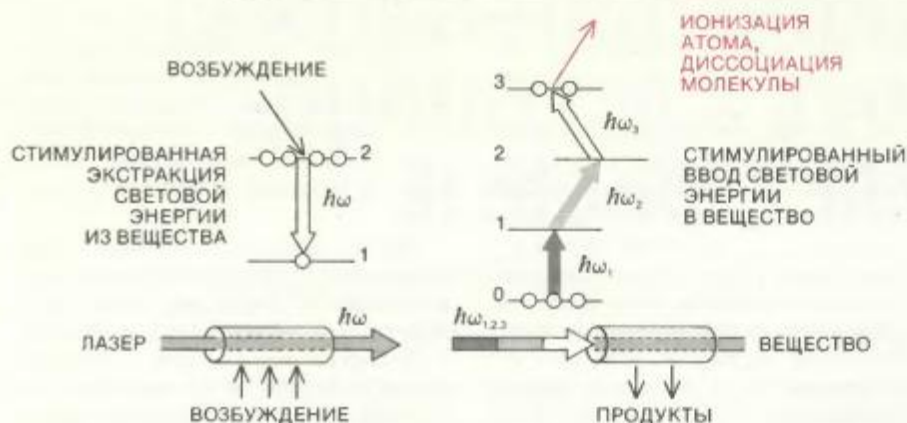
характер (см. рисунок на с. 48 внизу), поэтому для ионизации возбужденного атома второй лазерный импульс должен иметь большую энергию, чем первый (обычно 0,01—1 Дж/см²), что также вполне достижимо в обычных лабораторных лазерах.

Чрезвычайно малая ширина линии резонансного возбуждения исключает возможность совпадения линий различных элементов, поэтому процесс ступенчатой резонансной ионизации строго избирателен и с помощью настройки длины волны лазера может быть осуществлен для любого атома данного сорта. Более того, ширина линии резонансного возбуждения обычно меньше так называемого изотопического сдвига спектральных линий атомов одного и того же элемен-



ЛАЗЕРЫ, используемые в экспериментах по резонансному фотоионизационному детектированию короткоживущих изотопов на лазерно-ядерном комплексе Ленинградского института ядерной физики им. Б. П. Константинова АН СССР и Института спектроскопии АН СССР. Вверху справа видны два лазера на парах меди с частотой повторения импульсов 10 кГц, которые используются для накачки трех лазеров на красителях с перестраиваемой частотой. Высо-

кая частота повторения импульсов обеспечивает облучение значительной доли редких изотопных атомов. Этот эксперимент представляет собой пример создания нового направления экспериментальной физики, объединяющего возможности лазерных и ядерных методов. Фотография сделана в Ленинградском институте ядерной физики им. Б. П. Константинова АН СССР в г. Гатчине.



СТИМУЛИРОВАННЫЕ ИЗЛУЧЕНИЕМ квантовые переходы с испусканием и поглощением фотона играют ключевую роль в работе лазера и осуществлении лазерно-индуцированных процессов в атомах и молекулах. В активной среде лазера для двух уровней (состояний) энергии создается инверсная заселенность, при которой на верхнем уровне находится больше частиц (атомов, молекул или ионов), чем на нижнем. Лазерный эффект возникает за счет квантового резонансного процесса — стимулированного испускания фотона на резонансной частоте $\omega = (E_2 - E_1)/\hbar$, где E_2 и E_1 — энергии уровней 2 и 1, \hbar — постоянная Планка. Вероятность стимулированного испускания пропорциональна интенсивности взаимодействующего с частицей резонансного излучения. Существует и обратный процесс — стимулированное поглощение резонансного излучения частицами на нижнем уровне. При взаимодействии лазерного света с невозбужденными частицами, находящимися на нижнем уровне энергии, стимулированное поглощение резонансных фотонов приводит к их возбуждению на более высокие уровни (справа). Если известны частоты резонансных переходов по уровням энергии вверх, то с помощью лазерных импульсов с соответствующим образом настроенными частотами $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ можно добиться возбуждения частицы в высоколежащие квантовые состояния.

та с разными изотопными ядрами. Это позволяет использовать процесс ступенчатой ионизации для изотопически-селективной ионизации атомов.

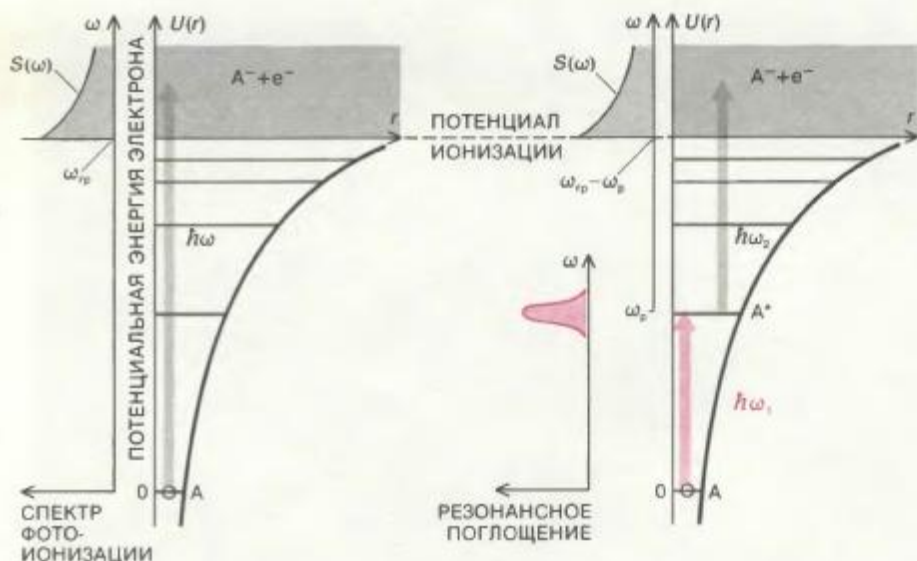
Процесс резонансной ступенчатой ионизации лег в основу двух новых методов — лазерной ионизационной спектроскопии атомов и молекул и лазерного ионизационного разделения изотопов, которые были предложены автором статьи в 1969 г. Первые успешные эксперименты по резонансной ступенчатой ионизации атомов рубидия были осуществлены в 1971 г. в Институте спектроскопии АН СССР. Оба метода быстро развивались во многих лабораториях ряда стран и в настоящее время используются в спектральном анализе и для разделения изотопов на промышленных установках.

Резонансная ионизационная спектроскопия

Одна из основных задач спектроскопии — получить максимально полную и точную информацию о веществе при минимальном его количестве, имеющемся в распоряжении исследователя. Теоретический предел чувствительности детектирования составляет один атом или молекулу. Однако в реальном эксперименте до сих пор можно было измерять спектр только при достаточно большом числе атомов или молекул в образце (примерно 10^{10} — 10^{20} для различных методов и объектов).

В то же время существует много важных задач, для решения которых необходима более высокая чувствительность. Например, определение сверхтонкой и изотопической структуры спектров атомов с радиоактивными короткоживущими ядрами, которое позволяет получить данные о самом ядре; обнаружение следов редких элементов в природных образцах с относительным их содержанием менее $10^{-10}\%$; детектирование примесей в особо чистых материалах, в частности применяемых в микроэлектронике. Современная наука располагает большим арсеналом аналитических методов (оптических, ядерных, химических и т. д.), однако решение перечисленных задач находится за пределами возможностей существующих методов.

Создание метода резонансной ионизации решило проблему повышения чувствительности, так как в нем детектирование атома (молекулы) свелось к детектированию образующегося фотоиона (фотоэлектрона), а это можно сделать с 100%-ной эффективностью. Регистрация спектра по-



ЗАВИСИМОСТЬ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ электрона $U(r)$ в электрическом поле иона от расстояния r между ними и процессы нерезонансной фотоионизации и резонансной ступенчатой фотоионизации атома. Атом в основном состоянии A может поглотить фотон с энергией $\hbar\omega$, превышающей потенциал ионизации I , что вызывает его фотоионизацию (слева). Спектр такой нерезонансной фотоионизации $S(\omega)$ покрывает широкую область частот $\omega > \omega_{гр}$, начинающуюся у граничной частоты фотоэффекта $\omega_{гр} = I/\hbar$. Частоту лазера можно настроить на частоту резонансного перехода атома в первое возбужденное состояние и за счет стимулированного возбуждения перевести в него атом (справа). Такой процесс резонансного возбуждения высокоселективен, так как спектральные линии резонансного поглощения $S(\omega)$ на переходах между дискретными уровнями энергии очень узкие. В возбужденном атоме A^* энергия связи электрона меньше на величину энергии возбуждения. Энергии одного фотона ($\hbar\omega_1$ или $\hbar\omega_2$) недостаточно для ионизации атома в основном состоянии: ионизация происходит только после последовательного поглощения двух фотонов.

глошения проводится по измерению числа ионов или фототока при сканировании длины волны лазера, возбуждающего резонансный переход, и при фиксированной длине волны другого лазера, осуществляющего фотоионизацию возбужденных атомов. Мощность импульсов обоих лазеров должна обеспечивать эффективное возбуждение и фотоионизацию исследуемых частиц при совпадении частоты лазера с частотой резонансного перехода, т. е. максимально эффективную конверсию нейтральной частицы в фотоион.

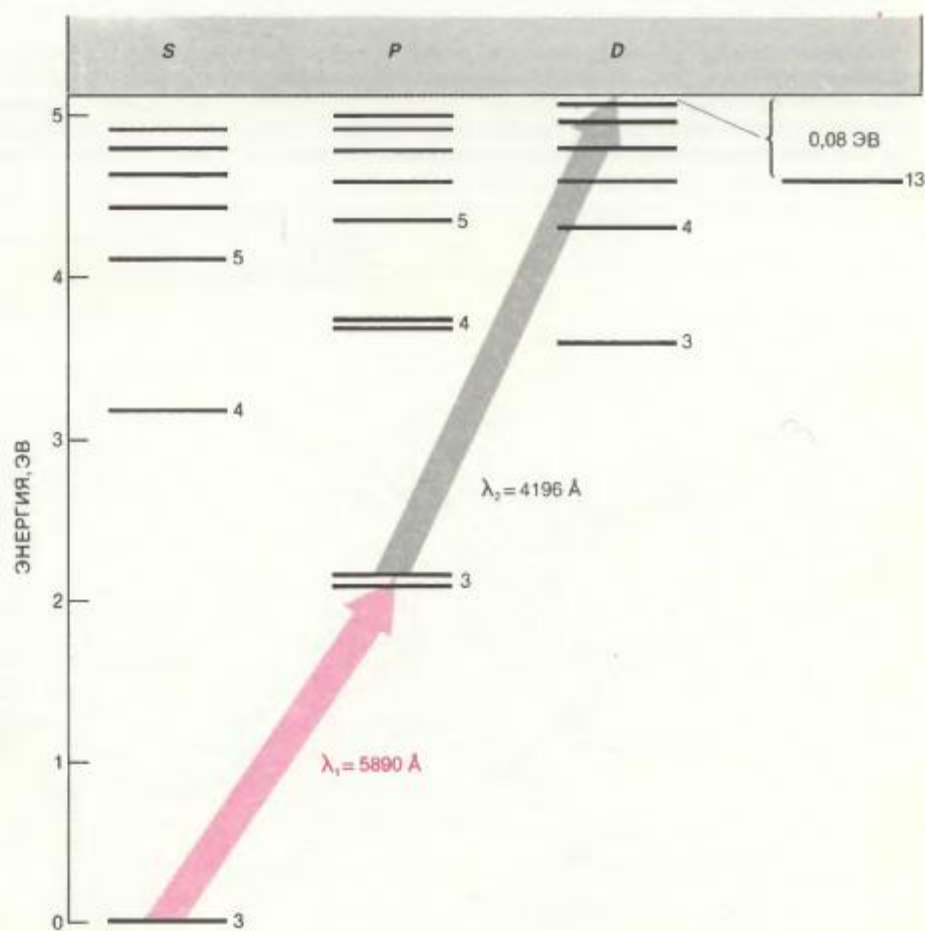
Первые эксперименты по фотоионизационному детектированию одиночных атомов были осуществлены в 1977 г. в СССР и США в экспериментах различного типа. Группа доктора Г. Хёрста из Ок-Риджской лаборатории (США) провела резонансную ионизацию атомов цезия Cs в пропорциональном счетчике Гейгера по схеме, изображенной на с. 48 (внизу). Образующийся в результате ионизации фотоэлектрон вызывает электронную лавину, которая надежно регистрируется.

В нашей лаборатории Г. И. Беков и В. И. Мишин осуществили ионизацию атомов натрия Na в атомном пучке с помощью двух лазеров с перестраиваемой частотой (см. рисунок на с. 49). Под действием первого лазерного импульса атом натрия резонансно возбуждается в промежуточное состояние, а под действием второго импульса совершает следующий резонансный переход в высоковозбужденное состояние вблизи границы ионизации. Такой высоковозбужденный атом (называемый иногда ридберговским атомом) имеет небольшую энергию связи электрона и поэтому может быть легко ионизован импульсом электрического поля напряженностью 10—20 кВ/см. Образующийся ион ускоряется, отклоняется тем же импульсом электрического поля и надежно регистрируется с помощью вторичного электронного умножителя.

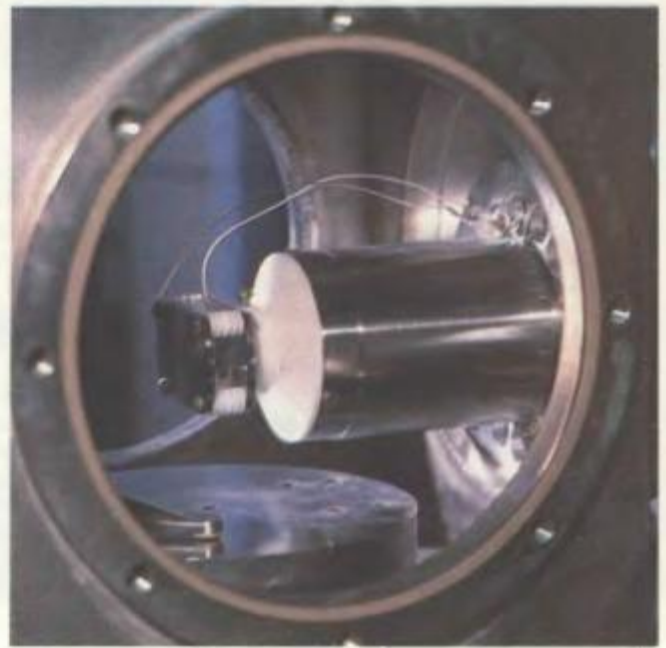
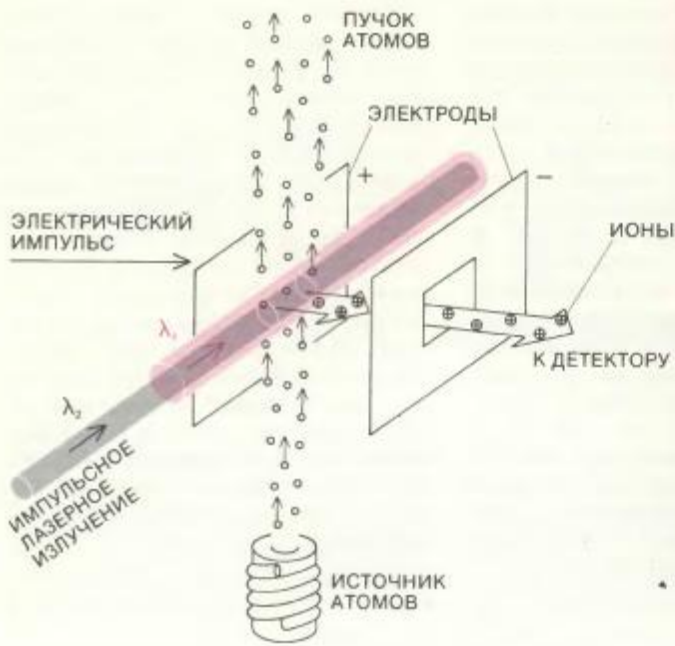
Эти эксперименты продемонстрировали реальную возможность достижения чувствительности на уровне одиночного атома при условии, что детектируемый атом попал в область наблюдения. Разрешающая способность фотоионизационного метода, т. е. возможность различать две близкорасположенные спектральные линии, определяется шириной линии резонансного возбуждения; в эксперименте по ионизации в атомном пучке она чрезвычайно мала: $\Delta\omega_{\text{полг}}/\omega \approx 10^{-7}$. Это позволяет обнаруживать и измерять тонкие детали в спектре атома, обусловленные, в частности, структурой его ядра.

Метод обладает высоким быстродействием, т. е. допускает измерение в течение очень короткого времени, и не требует долгого наблюдения для накопления слабых сигналов, поступающих от многих атомов, как в других спектральных методах. Время быстрого действия определяется длительностью лазерных импульсов. В описанных выше экспериментах с атомами натрия и цезия использовались импульсы лазера на красителе с длительностью около 10 нс. Но при переходе к более коротким лазерным импульсам достигается быстродействие в пикосекундном ($1 \text{ пс} = 10^{-12} \text{ с}$) и даже фемтосекундном ($1 \text{ фс} = 10^{-15} \text{ с}$) диапазонах. Недавно такие эксперименты по двухступенчатой резонансной ионизации молекул успешно осуществлены Б. Грином и Р. Фарроу из AT&T Bell Laboratories (США).

Следует отметить также чрезвычайно высокую степень избирательности фотоионизационной резонансной спектроскопии. Это особенно важно в аналитических целях, когда необходимо обнаруживать следы примесных атомов в исследуемом образце. По сравнению с известными спектральными методами в рассматриваемом методе происходит «умножение» избирательности при последовательном двух- или трехступенчатом возбуждении атома (см. рисунок на с. 49). На первой ступени возбуждения вероятность перекрытия двух линий поглощения разных атомов мала, а вероятность повторения такого события на второй резонансной ступени практически равна нулю. В принципе это позволяет надежно регистрировать редкие одиночные атомы в

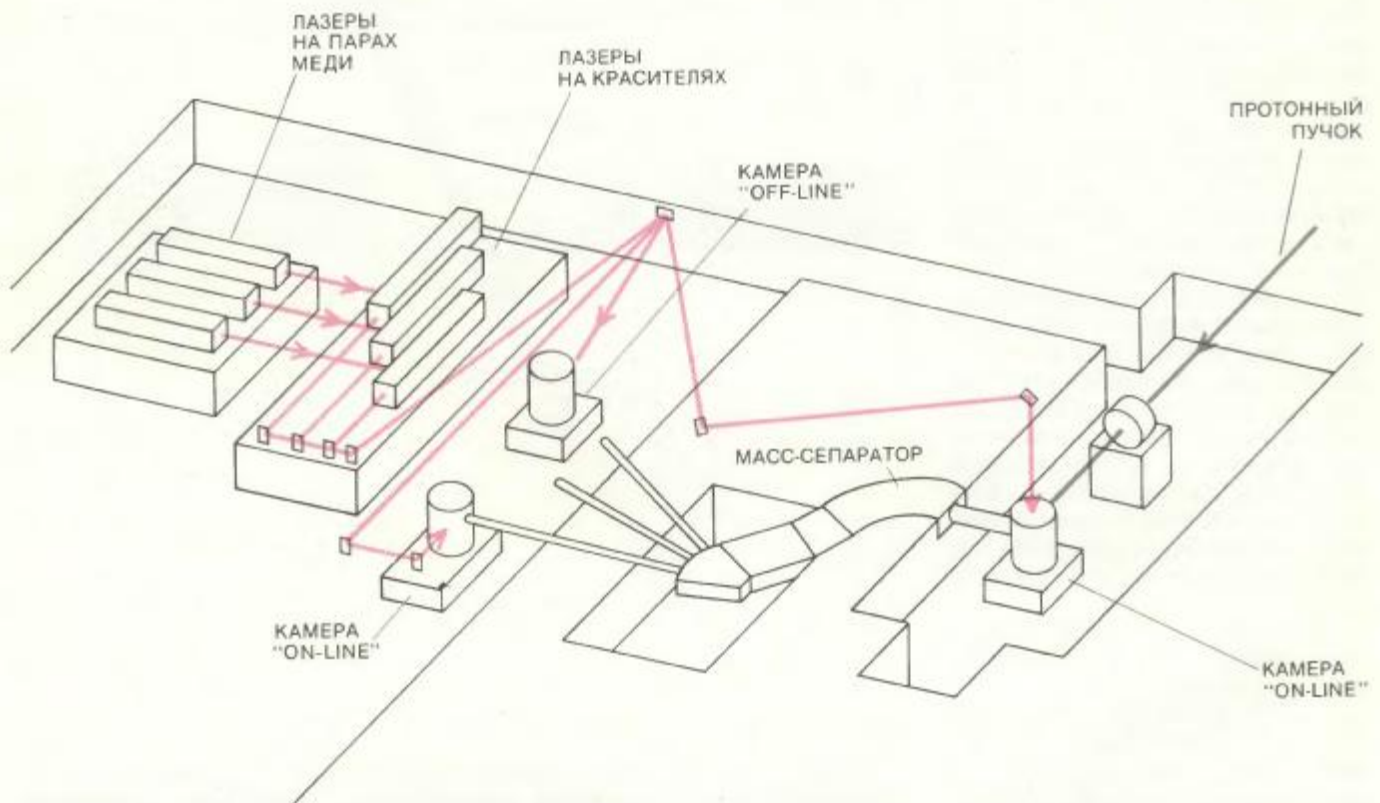


РЕЗОНАНСНОЕ ИОНИЗАЦИОННОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ одиночных атомов натрия Na в очень разреженном атомном пучке совместным действием лазерных импульсов и импульса электрического поля. Длины волн λ_1 и λ_2 лазерных импульсов точно настроены в резонанс с двумя последовательными квантовыми переходами атома Na из основного состояния 3S в промежуточное состояние 3P и затем в высоковозбужденное (ридберговское) состояние 3D, лежащее ниже границы ионизации / на 0,08 эВ. Для ионизации этого состояния электрон должен преодолеть энергетический барьер всего 0,08 эВ, в то время как для ионизации в основном состоянии требуется энергия 5,14 эВ. После лазерных импульсов подается импульс постоянного электрического поля, который отрывает слабосвязанный электрон ридберговского атома. Этот же импульс «вытягивает» образовавшийся ион из области облучения и направляет его на детектор ионов.



УПРОЩЕННАЯ СХЕМА эксперимента (слева) и вакуумная камера (справа), в которой происходит резонансная фотоионизация детектируемых атомов. Атомный пучок образуется при нагреве образца и вылете атомов в камеру в вертикальном направлении через отверстие внизу. Атомы по-

падают в облучаемую область между электродами, где под действием лазерных импульсов и импульса электрического тока происходит их ионизация. На фотографии справа в цилиндре находится электронный умножитель, который регистрирует образующиеся атомные фотоионы.



ОБЩИЙ ВИД ЛАЗЕРНО-ЯДЕРНОГО КОМПЛЕКСА Ленинградского института ядерной физики им. Б. П. Константинова (ЛИЯФ) и Института спектроскопии АН СССР (ИСАН), расположенного у протонного ускорителя в г. Гатчине. Протонный пучок с энергией 1 ГэВ облучает мишень, в которой за счет ядерных реакций образуются короткоживущие изотопы. Они испаряются из нагретой мишени, ионизируются и разделяются в масс-сепараторе. В режиме «off-line» исследуемые изотопные атомы накапливаются в образце и затем переносятся в вакуумную камеру. При нагревании

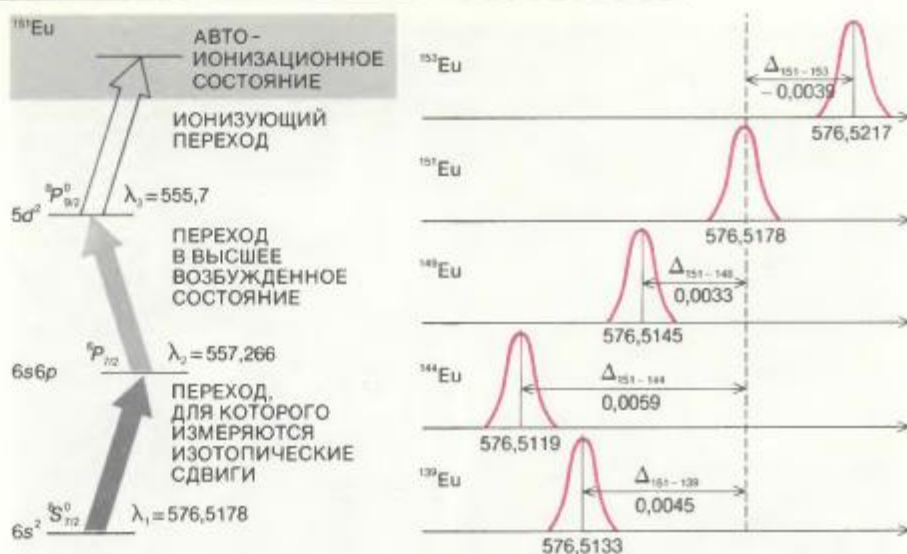
образца они в виде нейтральных атомов с радиоактивным ядром испаряются в вакуум, где и облучаются лазерами. Для исследования короткоживущих изотопов и ядерных изомеров с временем жизни от нескольких часов до нескольких секунд используется режим работы «on-line», когда радиоактивные ядра непрерывно накапливаются в образце и испаряются в виде нейтральных атомов. Резонансная фотоионизация атомов происходит по трехступенчатой схеме при одновременном действии импульсов от трех лазеров на красителях с перестраиваемой частотой.

образце, содержащем 10^{21} атомов других элементов.

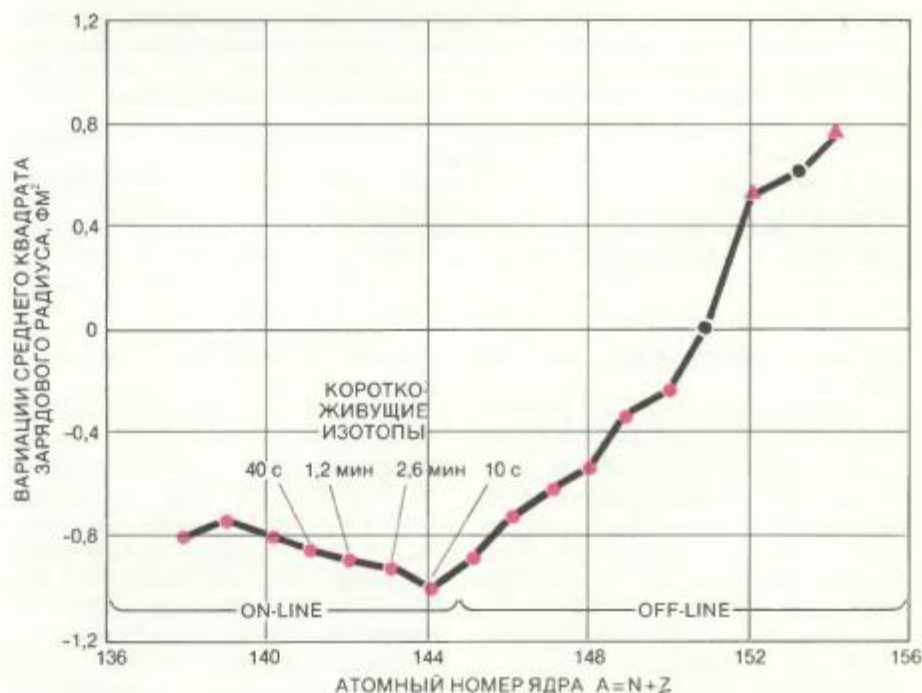
Резонансная фотоионизационная спектроскопия — универсальный метод, пригодный для изучения любого атома или молекулы, если известна последовательность резонансных переходов, ведущих к ионизации. Такая последовательность специфична для каждого элемента и молекулы. Поэтому для более широкого применения метода необходимо, во-первых, изучение высоковозбужденных состояний. Сейчас это одна из наиболее активно исследуемых областей атомной и молекулярной физики, и метод многоступенчатого возбуждения атомов и молекул с помощью лазерного излучения играет в этих исследованиях ключевую роль. Во-вторых, необходимы лазеры с перестраиваемой частотой в инфракрасной (ИК), видимой и ультрафиолетовой (УФ) областях спектра.

Сочетание высокого разрешения и предельно возможной чувствительности фотоионизационного метода особенно ценно для исследования сверхтонкой и изотопической структуры спектров атомов с короткоживущими ядрами, доступных для измерения в чрезвычайно малом количестве. Изотопическая и сверхтонкая структура спектральных линий несет ценную информацию о характеристиках ядра (среднем радиусе, спине, магнитном и квадрупольном моментах). Фотоионизационный метод успешно используется для измерений среднего зарядового радиуса короткоживущих ядер, получаемых в результате ядерных реакций под действием ускоренных протонов. Такой эксперимент осуществлен на лазерно-ядерном комплексе Ленинградского института ядерной физики им. Б. П. Константинова и Института спектроскопии АН СССР и представляет собой пример создания нового направления экспериментальной физики, объединяющего возможности лазерных и ядерных методов.

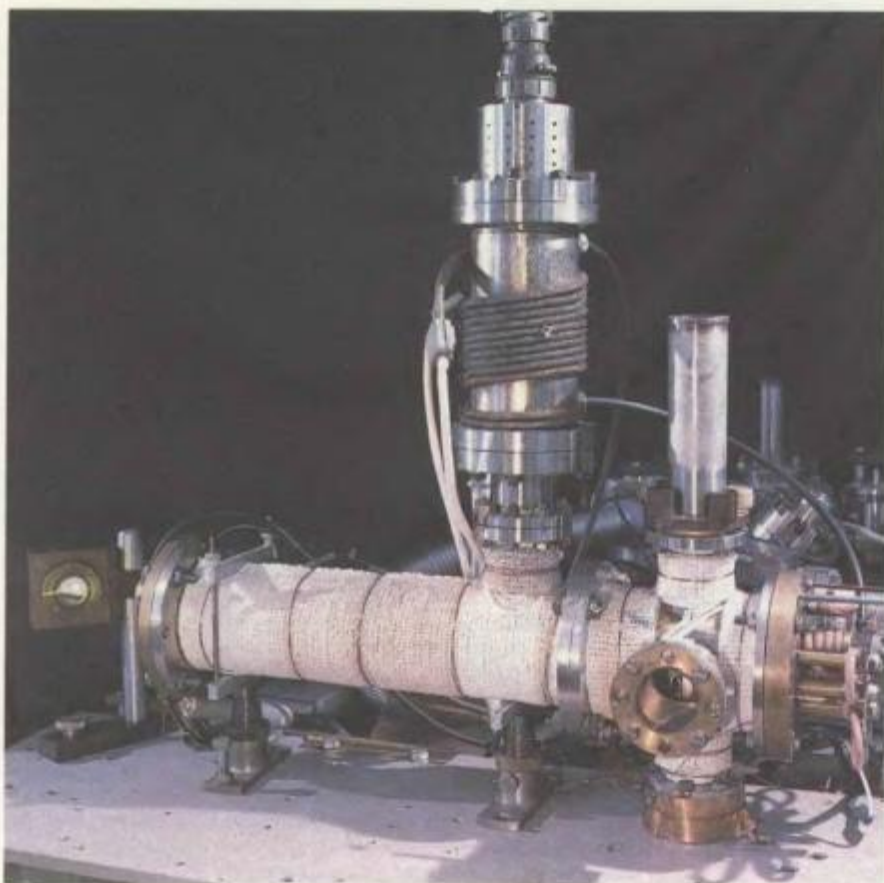
Пучком протонов с энергией 1 ГэВ облучают мишень, в которой в результате ядерных реакций образуются элементы разного изотопного состава, включая множество короткоживущих изотопов (рисунок на с. 50 внизу). Ядра диффундируют из мишени и в виде ионов поступают на вход масс-сепаратора, в котором они разделяются по массам. Ионы представляют смесь разного изотопного состава с фиксированным атомным числом $A = Z + N$ (Z — число протонов, N — число нейтронов). Ускоренные сепарированные ионы внедряются в нагретую фольгу, где происходит их нейтрализация и последующее



ИЗМЕРЕНИЕ ИЗОТОПИЧЕСКИХ СДВИГОВ атомов европия Eu с короткоживущим ядром путем резонансной трехступенчатой фотоионизации. Атомы облучают тремя лазерными импульсами, длины волн которых $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ настроены в резонанс с последовательными переходами атома Eu из основного состояния $6s^2$ в резонансное промежуточное состояние $6s6p$, а затем — в промежуточное состояние $5d^2$ и, наконец, в автоионизационное состояние (лежащее выше границы ионизации), в котором атом испускает электрон и превращается в ион (слева). Длина волны узкополосного излучения лазера на первой резонансной ступени тонко перестраивается в ходе эксперимента в окрестности $\lambda_1 = 576,5178$ нм, чтобы выявить различия в длинах волн резонансного возбуждения различных изотопов, обусловленные взаимодействием электронов оптической оболочки атома с ядром. Справа приведены изотопические сдвиги Δ резонансного возбуждения на первой ступени для нескольких изотопов Eu. (Длины волн даны в нанометрах, нм).



ВАРИАЦИИ СРЕДНЕГО КВАДРАТА зарядового радиуса короткоживущих ядер европия Eu с различным числом нейтронов, измеренные на лазерно-ядерном комплексе ЛИЯФ—ИСАН. Вариации среднего квадрата радиуса $\Delta\langle r^2 \rangle$ выражены в Фм^2 ; 1 Ферми (Фм) = 10^{-13} см. $A = N + Z$ — атомный номер ядра, равный суммарному числу протонов $Z = 63$ и нейтронов N . Указано также время полураспада короткоживущих ядер. Данные получены Г. Д. Алхазовым, В. И. Мишиным и другими учеными из Ленинградского института ядерной физики им. Б. П. Константинова (г. Гатчина) и Института спектроскопии АН СССР (г. Троицк). Изотопы, исследованные методом резонансной фотоионизации, показаны красными точками; красные треугольники — другие радиоактивные изотопы; черные точки — стабильные изотопы ^{151}Eu и ^{153}Eu .



ВЫСОКОВАКУУМНАЯ металлическая камера, в которой под действием двух лазерных импульсов происходит резонансная фотоионизация одиночных короткоживущих изотопов радиоактивного атома франция. Одиночные атомы ^{221}Fr образуются в результате радиоактивных превращений радия: $^{225}\text{Ra} \xrightarrow{\beta\text{-распад, 15 дней}} ^{225}\text{Ac} \xrightarrow{\alpha\text{-распад, 10 дней}} ^{221}\text{Fr} \xrightarrow{\alpha\text{-распад, 4,8 мин}}$. В этом эксперименте, проведенном в 1986 г. С. В. Андреевым и В. И. Мишиным из Института спектроскопии АН СССР, достигнута высшая чувствительность лазерного детектирования, которая позволила использовать слаборадиоактивный лабораторный источник редких элементов для изучения их свойств с помощью лазера.

испарение в вакуум в виде нейтральных атомов.

Лазерная часть комплекса состоит из трех импульсных лазеров на красителях с перестраиваемой частотой (см. рисунок на с. 47). Длины волн лазеров настраиваются на длины волн последовательности трех резонансных переходов исследуемого элемента, ведущих к его ионизации. Таким образом, выбором длин волн лазеров обеспечивается ионизация в смеси атомов и изотопов с заданным массовым числом A только одного элемента с заданным числом протонов Z . В результате такой двойной селекции образуются фотоионы с определенными значениями A и N (данного элемента с определенным числом нейтронов). Именно это обеспечивает измерение сверхтонкой и изотопической структуры спектров определенных изотопных атомов. В качестве примера можно привести процесс трехступенчатого возбуждения и ио-

низации атомов европия Eu (см. рисунок на с. 51 сверху).

Изотопический сдвиг спектральной линии атома, обусловленный зависимостью энергии электрона от объема ядра, связан со средним радиусом распределения заряда ядра $\langle r \rangle$. Поэтому по измеренным изотопическим сдвигам для атомов с радиоактивным ядром можно вычислить его средний радиус. На рисунке на с. 51 показана зависимость вариации среднего радиуса ядра относительно стабильного изотопа ^{151}Eu . Уменьшение радиуса по мере снижения числа нейтронов сменяется его увеличением в области короткоживущих нейтронодефицитных ядер. Такое anomalous поведение, отличное от предсказаний модели ядра в виде жидкой капли, интерпретируется как результат его деформации.

Этот пример показывает, что с помощью метода резонансной фотоионизации тонкие спектральные из-

мерения стали возможны для атомов, существующих всего несколько секунд и доступных в чрезвычайно малом количестве. Так, короткоживущие ядра европия генерируются в мишени в количестве 3000 ядер в секунду. После высвобождения из мишени, сепарирования по массам и формирования атомного пучка только небольшая их доля доставляется в область лазерного облучения. Тем не менее этого количества достаточно для их детектирования и проведения прецизионных спектральных измерений. В описанных экспериментах достигнута высшая чувствительность спектрального определения изотопных атомов, приближающаяся к чувствительности, которая до сих пор была возможна только в ядерно-физических экспериментах.

Высокая чувствительность ядерных методов основана на том, что распад ядер сопровождается рождением частиц с энергией в сотни килоэлектронвольт и даже несколько мегаэлектронвольт, которые легко регистрировать. В оптической спектроскопии о такой чувствительности не приходилось и мечтать. Однако создание метода резонансной фотоионизации изменило ситуацию, и, по-видимому, в ближайшие годы он будет успешно конкурировать с ядерно-физическими методами регистрации редких радиоактивных изотопов. В отличие от ядерных методов в лазерном методе не используется само явление распада ядер, и, следовательно, его можно применять для изучения долгоживущих радиоактивных изотопов, которые трудно регистрировать ядерными методами из-за большого периода их полураспада. Эта принципиальная особенность очень важна и может быть использована, например для разработки лазерного радиохимического детектора нейтрино. Таким образом, экспериментальная физика получила в свое распоряжение новый метод детектирования ультраслабой радиоактивности, основанный не на явлении радиоактивного распада, а на обнаружении тонких различий в оптических спектрах атомов со стабильным и радиоактивным ядрами.

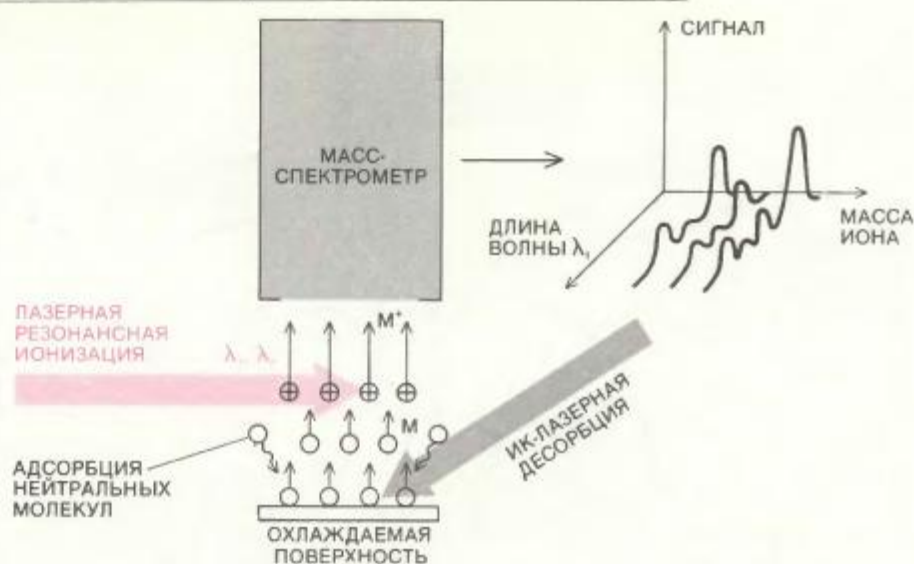
Другая практически важная область применения фотоионизационного метода — анализ «следов» атомов. Новые возможности детектирования следов элементов были продемонстрированы в успешных экспериментах по определению содержания рутения в морской среде, проведенных совместно Институтами спектроскопии АН СССР, Институтом океанологии АН СССР и Институтом геологоразведки Министерства геологии СССР.

Метод резонансной фотоионизации столь же успешно применяется для обнаружения «следов» молекул. Пионером в области исследования фотоионизации молекул был академик А. Н. Теренин, который еще в 30-е годы со своими коллегами из Государственного оптического института им. С. И. Вавилова разработал основные методы, которые сегодня стали неотъемлемой частью фотоионизационных экспериментов с помощью лазеров: детектирование фотоионов в счетчике Гейгера, масс-спектрометрия образующихся молекулярных фрагментов, измерение энергии фотоэлектронов (фотоэлектронная спектроскопия). В настоящее время с помощью лазерного излучения можно проводить резонансную фотоионизацию молекул через промежуточные возбужденные состояния, что превратило метод фотоионизации в спектроскопический метод. В 1981 г. В. С. Антонов и А. Н. Шибанов из Института спектроскопии АН СССР осуществили резонансное фотоионизационное детектирование всего нескольких молекул нафталина (см. рисунок на с. 53).

Сейчас мы подходим к решению труднейшей задачи, сформулированной академиком П. Л. Капицей еще в 1959 г. в своей речи «Будущее науки» на Международном симпозиуме по планированию науки: «догнать обоняние собаки» физическими методами. Резонансная фотоионизация в сочетании с методами избирательной адсорбции может позволить детектировать молекулы с чувствительностью и избирательностью, доступной только органам обоняния человека и животных, т. е. позволит создать лазерный анализатор запаха.

Резонансная диссоциация молекулы

При поглощении фотона молекула АВ может получить энергию, превышающую энергию химической связи между двумя ее фрагментами (атомами или радикалами), и подвергнуться распаду на эти фрагменты; этот процесс называют фотодиссоциацией. Например, молекула HCl может диссоциировать на атомы водорода и хлора, а молекула NH₃ — на атом водорода и радикал NH₂. Процесс фотодиссоциации молекулы АВ удобно рассматривать с помощью зависимости энергии взаимодействия ее фрагментов А и В от расстояния между ними r_{A-B} (см. рисунок на с. 54). В основном электронном состоянии молекулы ни один из электронов не возбужден и зависимость $U(r_{A-B})$ имеет характерный минимум, поскольку на



УПРОЩЕННАЯ СХЕМА лазерного фотоионизационного детектора следов молекул, сочетающего методы адсорбции молекул на охлажденной поверхности, импульсную лазерную десорбцию молекул, резонансную фотоионизацию лазерным импульсом и измерение масс-спектра образующихся фотоионов. Охлажденная поверхность детектора находится в разряженном газе с примесями детектируемых молекул в исключительно малых концентрациях, недоступных измерениям каким-либо другим методом. Детектируемые молекулы могут столкнуться с подложкой и закрепиться на ней, в результате чего происходит их накопление. При облучении поверхности импульсом первого лазера, например ИК-лазера, излучение которого поглощается подложкой, происходит нагрев ее верхнего тонкого слоя на небольшую величину ($T = 50-200$ °С). При таком импульсном нагреве происходит почти полная десорбция адсорбированных молекул, и они в виде «облака» с очень низкой концентрацией удаляются от подложки с тепловой скоростью. В это время лазеры УФ-диапазона облучают «облако» десорбированных молекул над подложкой и вызывают их резонансную фотоионизацию. Для этого его длина волны настраивается в резонанс с переходом молекулы в возбужденное электронное состояние; при последующем поглощении фотонов возбужденной молекулой происходит ее фотоионизация. Образующиеся фотоионы анализируются по массам для окончательной идентификации. Справа упрощенно показан регистрируемый двумерный масс-оптический молекулярный спектр.

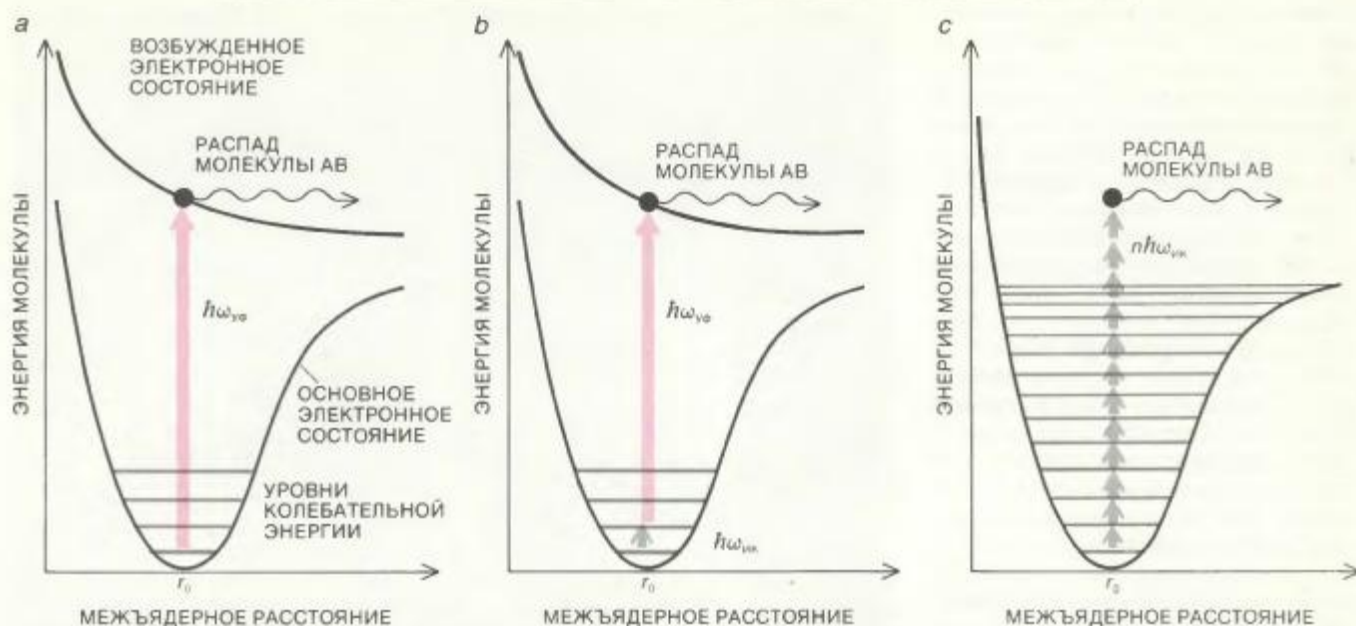
больших расстояниях между фрагментами действует сила притяжения Ван-дер-Ваальса, а на малых расстояниях — сила отталкивания. Минимум потенциальной энергии соответствует равновесному, или стабильному, состоянию молекулы с расстоянием r_0 между ее фрагментами А и В.

Если один из электронов молекулы возбужден, то зависимость энергии взаимодействия от расстояния r_{A-B} может изменяться; в частности, существуют возбужденные электронные состояния, в которых действует только сила отталкивания между фрагментами, т. е. зависимость $U(r_{A-B})$ не имеет минимума. Если при поглощении фотона молекула переходит в возбужденное электронное состояние с отталкивательным потенциалом взаимодействия, то ее распад (фотодиссоциация) неизбежен.

Процесс фотодиссоциации слабрезонансный, так как полосы электронного поглощения молекул довольно широки. Кроме того, для большинства молекул они лежат в малодоступной вакуумной ультрафиолетовой области спектра (длины волн короче 2000 Å). Поэтому фотодиссоциация

молекул до последнего времени не находила практического применения. Однако с помощью лазерного возбуждения молекулярных колебаний удалось осуществить резонансную фотодиссоциацию как простых, так и сложных молекул.

Ключ к решению этой проблемы — возбуждение молекулярных колебаний лазерным ИК-излучением. Молекулярное колебание может резонансно взаимодействовать с ИК-излучением, если оно сопровождается колебанием дипольного момента. В гетероядерных двухатомных молекулах (например, в хлористом водороде HCl) и более сложных многоатомных молекулах колебания положения ядер относительно друг друга всегда сопровождаются колебаниями дипольного момента, и такие молекулы эффективно взаимодействуют с ИК-излучением лазера, т. е. они активны в ИК-поглощении. В общем случае у многоатомной молекулы существует $3N-6$ (N — число атомов в молекуле) независимых (нормальных) колебаний (колебательных степеней свободы), специфических для молекулы данного типа. Например, молекула



ЗАВИСИМОСТЬ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ МОЛЕКУЛЫ в основном и возбужденном электронных состояниях от межъядерного расстояния r_{A-B} и различные методы ее фотодиссоциации: нерезонансная фотодиссоциация при одноквантовом стимулированном переходе в возбужденное электронное состояние (а); резонансная двухступенчатая фотодиссоциация при последовательном поглощении

ИК- и УФ-фотонов с энергиями $h\omega_{\text{ИК}}$ и $h\omega_{\text{УФ}}$, т. е. при возбуждении электронного состояния через резонансное промежуточное колебательное состояние (b); резонансная многофотонная диссоциация при поглощении большого числа ИК-фотонов многоатомной молекулой в основном электронном состоянии (c).

гексафторида серы SF_6 имеет 15 нормальных колебаний, многие из которых совпадают по частоте из-за симметрии молекулы. Из них шесть нормальных колебаний имеют различные частоты, лежащие в ИК-области, но только два колебания (ν_3 и ν_4) могут быть возбуждены ИК-излучением, так как при них происходит движение атома серы и, следовательно, изменяются гетероядерная связь $S-F$ и дипольный момент молекулы. Поэтому ИК-спектр поглощения SF_6 имеет две сильные полосы при 10,4 и 16,2 мкм. Такое упрощенное описание применимо и в других случаях, но число колебательных полос и их положение в спектре неодинаково для разных молекул. На этом основан ИК-спектральный анализ — рутинный метод идентификации молекул.

Настраивая частоту ИК-лазера на определенную полосу колебательного поглощения, можно «раскачать» соответствующее колебание, т. е. индуцировать переход молекулы в возбужденное колебательное состояние. Энергия связи молекулы в возбужденном состоянии уменьшается, и молекула легче переходит в отталкивательное высоколежащее электронное состояние, в котором происходит ее диссоциация (см. рисунок на с. 54). Такой процесс двухступенчатой фотодиссоциации при последовательном поглощении ИК- и УФ-фотонов становится резонансным, поскольку первая ступень — возбуждение колебаний — является резонансной. Метод

двухступенчатой ИК — УФ-резонансной фотодиссоциации молекул с помощью лазерного излучения был предложен автором статьи в 1969 г.

В результате сочетания резонансного возбуждения колебаний с последующим электронным возбуждением удалось превратить процесс фотодиссоциации со слабовыраженными резонансными свойствами в высокоизбирательный процесс двухступенчатой фотодиссоциации, пригодной даже для разделения изотопов. Дело в том, что в ИК-спектрах многих молекул с легкими изотопными атомами явно проявляется изотопический сдвиг частоты колебаний, так как атом более тяжелого изотопа A смещает частоту колебаний связи $A-B$ в длинноволновую область относительно частоты того же колебания с участием более легкого атома A . С помощью излучения лазера в области 10 мкм, настроенного в резонанс с частотой поглощения соответствующей изотопной молекулы, можно вызвать ее изотопически-селективное возбуждение, а затем под действием УФ-излучения — изотопически-селективную фотодиссоциацию. Такой эксперимент был впервые осуществлен в 1972 г. Р. В. Амбарцумяном, Г. Н. Макаровым и А. А. Пурецким из Института спектроскопии АН СССР для молекул аммиака $^{14}\text{NH}_3$ и $^{15}\text{NH}_3$. Выбор этого соединения был обусловлен, во-первых, тем, что его молекулы имеют колебательную полосу в области 10 мкм, где работает

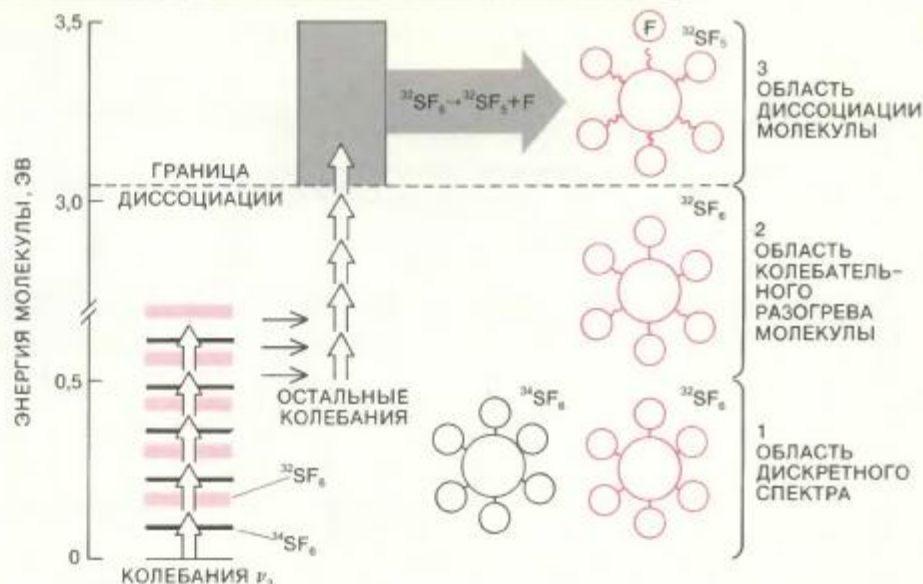
CO_2 -лазер, и, во-вторых, тем, что для фотодиссоциации колебательно-возбужденных молекул NH_3 используется излучение в еще доступной области спектра на длине волны $\lambda_2 = 2209 \text{ \AA}$.

Следующим этапом исследования было воздействие на молекулу настолько интенсивным лазерным ИК-излучением, настроенным в резонанс с каким-либо активным ее колебанием, чтобы молекула совершила несколько стимулированных колебательных переходов вверх по «лестнице» колебательных уровней вплоть до границы ее диссоциации в основном электронном состоянии (см. рисунок на с. 55). Первые эксперименты были проведены канадскими исследователями Н. Айсенором и М. Ричардсоном в 1971 г., которые наблюдали видимое свечение газообразных многоатомных молекул при фокусировке в кювету с образцом мощного импульса CO_2 -лазера. Однако из-за сравнительно высокого давления газа возможен его сильный нагрев излучением лазера и последующая термическая диссоциация, что не позволило сделать однозначный вывод о прямой фотодиссоциации молекул при поглощении большого числа ИК-фотонов. Доказательство возможности фотодиссоциации многоатомных молекул при резонансном взаимодействии с интенсивным лазерным ИК-излучением было получено в 1974 г. Е. А. Рябовым и Н. В. Чекалиным из Института спектроскопии АН СССР

в экспериментах по изотопически-селективной диссоциации молекул $^{10,11}\text{BCl}_3$ с помощью излучения CO_2 -лазера. Наблюдение резонансной ИК-фотодиссоциации молекулы в одной изотопической модификации, в резонансе с колебаниями которой находилось излучение CO_2 -лазера, свидетельствовало, что изолированная многоатомная молекула может поглотить 30—40 ИК-фотонов и достигнуть границы диссоциации без столкновений и нагрева молекулярного газа. Вскоре эти результаты были получены для молекул $^{32,34}\text{SF}_6$ и воспроизведены во многих других лабораториях.

Рассмотрим процесс изотопически-селективной диссоциации молекулы SF_6 под действием интенсивного ИК-излучения (см. рисунок на с. 55). В природе существует несколько изотопов серы, наиболее распространены изотопы с атомными номерами 32 и 34, имеющие природное содержание 95 и 4,2% соответственно. Разница в массе этих изотопов приводит к тому, что частота колебаний ν_3 молекулы $^{34}\text{SF}_6$ при 10,4 мкм сдвинута в длинноволновую область примерно на 2% частоты колебаний молекулы $^{32}\text{SF}_6$. Используя монохроматическое излучение мощного CO_2 -лазера, частоту которого можно в некоторых пределах менять, легко попасть в резонанс с колебанием либо молекулы $^{32}\text{SF}_6$, либо молекулы $^{34}\text{SF}_6$.

Молекула может легко поглотить несколько ИК-фотонов и «подняться» на несколько колебательных уровней. По мере возбуждения резонансного колебания ν_3 в колебательное движение вовлекаются и остальные колебания, которые прямо не связаны с ИК-излучением, и оно становится нерегулярным; в результате происходит колебательный «разогрев» молекулы до энергий вплоть до границы диссоциации. Так как в колебательное движение вовлекается множество типов колебаний, то можно сказать, что молекула возбуждается в «квазиконтинууме» из близких, перекрывающихся между собой энергетических состояний, сохраняя колебательный резонанс с ИК-излучением. Когда колебательная энергия молекулы становится больше энергии диссоциации, может произойти ее мономолекулярный распад с разрывом наиболее слабой химической связи. В случае молекулы SF_6 наиболее слабой является связь радикала SF_5 с атомом F и диссоциация осуществляется по схеме: $\text{SF}_6 + n\hbar\omega_{\text{ИК}} \rightarrow \text{SF}_5 + \text{F}$, где $n \approx 30$ — число поглощенных ИК-фотонов. Таким образом, если частота лазера настроена в резонанс с колебательной полосой молекулы $^{32}\text{SF}_6$, происходит ее избирательная диссо-



ИЗОТОПИЧЕСКИ-СЕЛЕКТИВНАЯ многофотонная диссоциация молекулы SF_6 под действием импульса ИК-излучения CO_2 -лазера, частота которого настроена в резонанс с колебательной полосой $^{32}\text{SF}_6$. Слева показана «лестница» уровней колебания ν_3 молекул $^{32}\text{SF}_6$ и $^{34}\text{SF}_6$ с отчетливо выраженным изотопическим сдвигом. Сначала молекула $^{32}\text{SF}_6$ находится на нижнем колебательном уровне, затем под действием интенсивного импульса CO_2 -лазера приобретает энергию, превышающую энергию ее диссоциации. При этом она последовательно проходит через три характерные области энергий: 1 — область нижних колебательных уровней, в которой взаимодействие молекулярного колебания ν_3 с ИК-излучением имеет острорезонансный характер; 2 — область, в которой возбуждаются все колебания; 3 — область, в которой колебательная энергия молекулы превышает энергию разрыва наиболее слабой связи F— SF_5 и происходит диссоциация возбужденной молекулы $^{32}\text{SF}_6$.

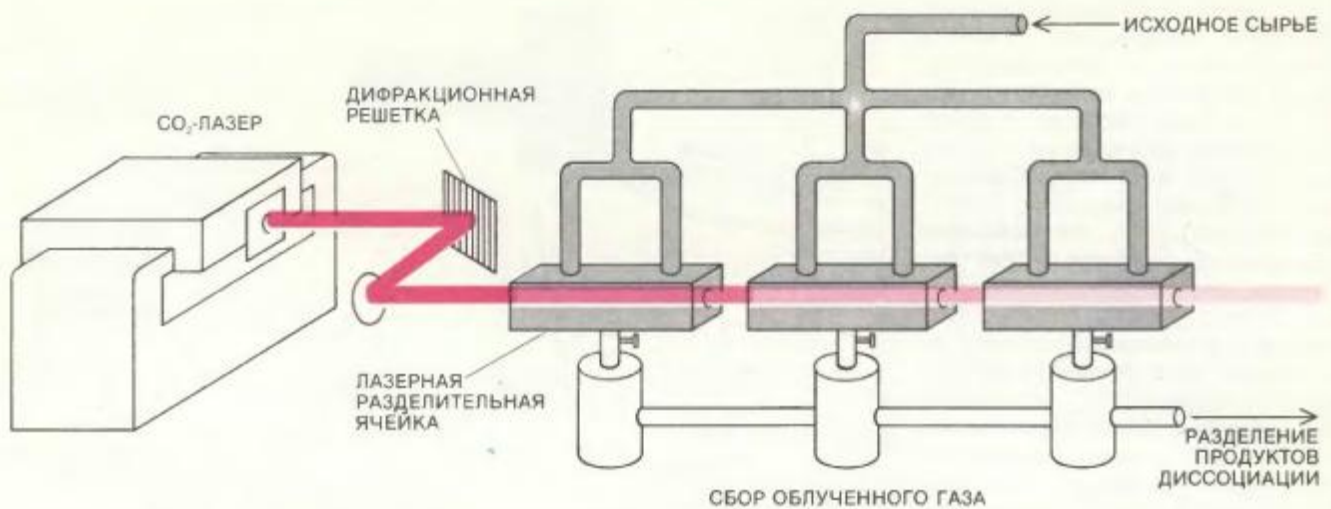
циация с образованием радикала $^{32}\text{SF}_5$, который легко отделить от молекул SF_6 химическими методами.

Явление фотодиссоциации молекул под действием ИК-излучения напоминает эффект термической диссоциации, так как происходит в основном электронном состоянии. Однако между ними имеются принципиальные различия. Во-первых, при быстром возбуждении импульсом ИК-излучения «нагреваются» только колебательные степени свободы, тогда как при обычном тепловом нагреве возбуждаются все степени свободы, включая поступательное движение и вращения молекул. Такое неравновесное возбуждение колебаний достигается в результате очень быстрой их «раскачки» под действием ИК-импульса за время 0,01—1 мкс. При непрерывном облучении лазерное ИК-излучение первоначально также возбуждает колебания молекул, однако при их столкновениях энергия быстро передается движению и вращению молекул, т. е. вызывает обычный тепловой нагрев. Во-вторых, фотодиссоциация молекул различного типа (например, в изотопной смеси) под действием ИК-излучения в отличие от термической диссоциации может быть селективной, в частности

изотопически-селективной. Настройка частоты ИК-излучения на колебательную частоту молекул определенного типа, можно осуществить их сильное колебательное возбуждение и диссоциацию без заметного воздействия на остальные молекулы в смеси, если они не имеют совпадающих колебательных частот. Это явление представляет интерес для исследования динамики процесса распада высоковозбужденных молекул, получения нужных радикалов в газе без обычного нагрева для химического синтеза и лазерного разделения изотопов. Последнее особенно важно, поскольку материалы с изотопным составом, отличающимся от природного, имеют большое значение в ядерной технике и энергетике. Поэтому весьма актуальна разработка принципиально новых, более совершенных и более экономичных методов их получения.

Лазерное разделение изотопов

Для разделения изотопов можно использовать все обсуждавшиеся выше процессы резонансной фотоионизации атомов и фотодиссоциации мо-



ОБЩИЙ ВИД УСТАНОВКИ для лазерного разделения изотопов углерода ^{12}C и ^{13}C , созданной совместно учеными Института атомной энергии им. И. В. Курчатова, НИИ стабильных изотопов (г. Тбилиси) и Институтом спектроскопии АН СССР. Установка состоит из импульсно-периодического CO_2 -лазера со средней мощностью до 5 кВт и пе-

рестраиваемой с помощью дифракционной решетки длиной волны 10 мкм, быстропроточной лазерной разделительной ячейки длиной 5 м, в которой происходит облучение содержащих ^{13}C многоатомных молекул (CF_3I , CF_2HCl и других), и химической разделительной колонки, где происходит разделение продуктов диссоциации.

лекул при поглощении двух или большего числа фотонов. В отличие от известных ранее фотохимических методов эти методы можно назвать фотофизическими. Еще в 1935 г. К. Цубер в Германии провел успешные опыты по фотохимическому разделению изотопов ртути, основанные на увеличении скорости реакции атома ртути с кислородом при его изотопически-селективном возбуждении с помощью монохроматического излучения ртутной лампы. Однако фотохимический метод не мог быть широко применен к другим элементам даже при использовании лазерного излучения.

Более универсальны фотофизические методы, при которых лазерное излучение не только изотопически-селективно возбуждает атом или молекулу выбранного изотопного состава, но и изменяет физическое состояние возбужденного атома или молекулы, вызывая либо их ионизацию, либо диссоциацию. Образующиеся ионы или радикалы определенного изотопного состава существуют в смеси гораздо дольше, чем возбужденные атомы и молекулы, и могут быть собраны с помощью электрических или химических методов. В отличие от фотохимических в фотофизических методах не используются столкновения возбужденных частиц, поэтому такие методы легко осуществимы с помощью лазерного излучения. Фотофизические методы разделения изотопов путем резонансной ионизации атомов или диссоциации молекул в результате ступенчатого возбуждения лазерным излучением были предложены автором статьи в 1969 г. в

Физическом институте им. П. Н. Лебедева АН СССР.

Преимущества лазерных процессов разделения изотопов перед существующими методами можно проиллюстрировать следующими данными на примере обогащения изотопов урана. На разделение одного атома ^{235}U в смеси с атомами ^{238}U методом газовой диффузии требуется энергия 5 МэВ, а методом центрифугирования — около 0,3 МэВ. Это большие затраты энергии, но они компенсируются тем, что при делении каждого ядра ^{235}U выделяется энергия около 200 МэВ. Для лазерного процесса с использованием селективной ионизации атомов ^{235}U или диссоциации молекулы $^{235}\text{UF}_6$ требуется световая энергия менее 10 эВ на 1 атом, или при к.п.д. лазера 0,1—1% затраты электрической энергии составляют 1—10 кэВ на 1 атом. Энергетический выигрыш очевиден. Помимо этого лазерный метод позволяет без увеличения затрат более полно извлекать атомы ^{235}U из естественной смеси изотопов, в которой он содержится в концентрации 0,7%. Это дает большую экономию, поскольку ^{235}U извлекается из обработанных существующими методами разделения изотопов «отходов» и отпадает необходимость в добыче урана, стоимость которой составляет основную долю экономических затрат на получение обогащенного урана для атомных электростанций. Наконец, размеры капиталовложений в лазерную разделительную фабрику гораздо меньше, чем в случае традиционных методов.

Метод резонансной ступенчатой

фотоионизации атомов успешно используется также для разделения изотопов урана в Ливерморской лаборатории им. Э. Лоуренса (США). В этом лазерном процессе изотопически-селективная трехступенчатая ионизация атомов ^{235}U осуществляется по схеме, показанной на рисунке на с. 51 для случая изотопов европия. На основе этой разработки в Ок-Ридже (США) сооружается опытный завод по лазерному разделению изотопов урана.

В Лос-Аламосской лаборатории (США) разработан лазерный молекулярный процесс разделения изотопов урана. Для изотопически-селективного возбуждения колебаний молекул $^{235}\text{UF}_6$ используется излучение ИК-лазера в области 16 мкм, а для диссоциации возбужденных молекул $^{235}\text{UF}_6$ — излучение УФ-экимерного лазера. Образующиеся в результате фотодиссоциации радикалы $^{235}\text{UF}_5$ выпадают в осадок и собираются.

На методе резонансной многофотонной ИК-фотодиссоциации многоатомных молекул основаны лазерные молекулярные процессы разделения изотопов легких элементов, разрабатываемые в ряде стран. Среди них следует назвать извлечение трития из тяжелой воды, используемой в реакторах в качестве замедлителя нейтронов, и получение изотопов бора, используемых в конструктивных элементах ядерных реакторов. В качестве примера рассмотрим процесс разделения изотопов углерода ^{12}C и ^{13}C , разработанный на основе метода изотопически-селективной ИК-фотодиссоциации молекул совместно уче-

ными Института атомной энергии им. И. В. Курчатова, НИИ стабильных изотопов в г. Тбилиси и Института спектроскопии АН СССР (см. рисунок на с. 56). Экономические затраты на обогащение изотопов углерода на такой установке значительно ниже, чем в случае существующих методов. Это позволяет более широко использовать изотопы углерода в значительных количествах и открывает путь к получению дешевых изотопов многих других элементов.

В описанных трех фотофизических методах лазерного разделения изотопов применяются лазеры совершенно различных типов с высокой частотой повторения импульсов и высокой средней мощностью, которые можно назвать базовыми для каждого из процессов — лазеры на красителях, УФ-экимерные лазеры и ИК-лазеры на CO_2 — в сочетании с различными методами нелинейного преобразования длины волны излучения. По мере усовершенствования этих лазеров и превращения их в высоконадежные системы с уровнями средней мощности несколько киловатт и более станет возможным промышленное использование индуцированных лазерным излучением атомно-молекулярных процессов в технологиях будущего. По существу речь идет о новом подходе в технологии получения материалов на атомно-молекулярном уровне, когда с помощью лазерного излучения можно непосредственно воздействовать на атомы и молекулы определенного сорта. К таким новым процессам можно отнести получение особо чистых веществ, необходимых для полупроводниковой и атомной промышленности, и лазерный химический синтез молекул.

В заключение я хотел бы обратиться к идее Г. Сиборга и У. Корлисса, высказанной в их книге «Человек и атом». Обсуждая перспективы применения будущей термоядерной горелки как универсального атомизатора всех отходов, они заметили, что «не исключено, что удастся добиться разделения образующихся при этом в смеси свободных атомов на элементы с помощью электромагнитных средств — наподобие тех, что применялись для разделения изотопов урана при высоких температурах в калютронах или масс-спектрометрах... Вы бросаете в аппарат отходы и получаете готовые элементы — сверхчистые металлы, неметаллические вещества, газы и т. д.» Описанные в данной статье универсальные методы резонансной фотоионизации атомов и фотодиссоциации молекул являются существенным шагом на пути к такой лазерной атомно-молекулярной технологии будущего.

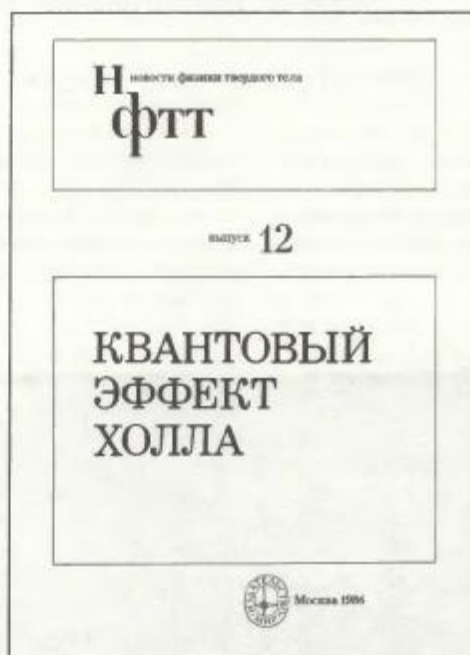
Издательство МИР предлагает:

КВАНТОВЫЙ ЭФФЕКТ ХОЛЛА

Сборник статей
1981-1984 гг.

Серия «Новости физики твердого тела», выпуск 12

Перевод с английского



Неугасающий интерес ученых всего мира к проблеме квантового эффекта Холла обусловлен тем, что в этом явлении, которому пока еще не найдено адекватного теоретического объяснения, обнаруживают все новые и новые интересные особенности (например, дробное квантование) и их трактовка 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 точнос-

тью, превышающей точность ее вычисления методами квантовой электродинамики. В сборник включено около 30 статей: экспериментальные работы, обзоры, а также теоретические статьи. 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 до сих пор не было.

Для физиков-экспериментаторов, занимающихся явлениями переноса в твердом теле, для теоретиков, интересующихся проблемами квантовой физики, для студентов и аспирантов.

1986, 15 л. Цена 2 р. 30 к.



Антарктические рыбы

Когда антарктические воды стали холодными и покрылись льдом, большая часть видов рыб вымерла и только представители

одного подотряда — нототениевые —

выжили в новых климатических условиях:

у них имеются биологические антифризы

и особые механизмы сохранения энергии

ДЖОЗЕФ Т. ИСТМЭН, АРТУР Л. ДЕ ФРИЗ

В ФЕВРАЛЕ 1899 г. британский корабль «Южный Крест» высадил 10 человек на берег мыса Адэр в Антарктиде. Так началась первая на самом южном континенте Земли экспедиция, продлившаяся год и ознаменовавшая начало «героической эры» в исследовании Антарктики. Многие зоологи видят значение этой экспедиции, помимо всего прочего, в одном открытии, которое занимает их уже без малого столетие: самое холодное из морских местообитаний оказалось заселенным рыбами. Зоолог экспедиции Н. Хэнсон не пережил год в ледяной стране, но он успел собрать коллекцию рыб неизвестных прежде видов.

И вот почти сто лет спустя мы и другие исследователи все еще пытаемся понять адаптации, позволяющие рыбам жить в местах, о которых прежде думали, что они определенно необитаемы. Особенно интересны адаптации представителей подотряда нототениевых — группы эволюционно продвинувшихся костистых рыб, родственных окунеобразным, которые обычны буквально в каждом морском местообитании. Этот подотряд объединяет 90-100 видов, распространенных преимущественно в антарктической области, где они преобладают над другими видами рыб, составляя, по оценкам, две трети от общего числа видов и 90% от общего количества рыб.

Мы сосредоточили свои исследования в основном на двух замечательных адаптациях. Первая из них, очевидно, решающая для выживания в ледяной воде, — это способность вырабатывать вещества, которые обладают свойствами эффективных антифризов. Такие вещества понижают температуру замерзания жидкостей тела. Вторая адаптация — это присущая некоторым видам нейтральная плавучесть, т. е. невесомость в воде. Невесомость избавляет рыбу от необ-

ходимости тратить драгоценную энергию на то, чтобы держаться в толще воды. По-видимому, именно благодаря нейтральной плавучести по крайней мере два вида смогли оторваться от морского дна, где обитает большинство антарктических нототениевых, и заселили средние слои воды, ресурсы которых используются рыбами не полностью.

Тот факт, что в Антарктике среди рыб существенно преобладают нототениевые, объясняется несколькими геологическими событиями и изменениями циркуляции в океане. На протяжении большей части своей истории Антарктида составляла вместе с другими южными континентами громадный массив, известный под названием Гондваны. Примерно 80 млн. лет назад этот материк начал разваливаться. Окружающая Антарктиду вода вначале была, вероятно, довольно теплой, по крайней мере местами. Изучая ископаемые остатки возрастом 38 млн. лет, найденные на острове Сеймур, один из авторов этой статьи, Истмэн, и Л. Гренд из Музея естественной истории в Чикаго обнаружили, что в прибрежных водах антарктической области некогда жили акулы, пила-рыба, скаты, химеры, зубатки и другие обитатели умеренных вод, которые сейчас в Антарктике отсутствуют или представлены очень бедно.

Приблизительно в то время, когда формировались ископаемые острова Сеймур, Антарктида полностью отделилась от Австралии и оконечности Южной Америки, а к ее берегам подступили просторы холодного глубокого океана. Охлаждение антарктических вод было вызвано сложными изменениями условий. В океане между 50 и 60 градусами южной широты образовалась зона антарктической конвергенции. Эта зона, окружившая отделившийся континент, стала мощным термическим барьером, который

воспрепятствовал проникновению с севера теплых течений и в значительной степени тепловодных рыб. Охлаждение воды привело к исчезновению тепловодных рыб, но не нототениевых. По-видимому, под влиянием холода началась их эволюция. Из-за холода и некоторых других факторов морская жизнь в Антарктике сейчас менее разнообразна, чем даже в Арктике, где имеется в полтора раза больше видов и в два раза больше семейств. К числу факторов, обуславливающих столь малое разнообразие, относятся немногочисленность островных групп и глубокий континентальный шельф Антарктиды. (Основными местообитаниями для множества видов рыб повсюду являются прибрежные и окружающие острова мелководья.)

ЧТОБЫ изучать адаптации, позволявшие нототениевым эволюционировать и процветать там, где другие рыбы еле существуют, мы с коллегами периодически ездим на остров Росса, который находится примерно в 740 км к югу от мыса Адэр. Уже почти тридцать лет на этой маленькой полоске суши, отделенной от материка 75 км пролива Мак-Мердо, Национальный научный фонд содержит исследовательскую биологическую станцию.

Один из нас (Де Фриз) начал посещать эту станцию 20 лет назад; основной его целью было изучение механизмов, с помощью которых антарктические рыбы не поддаются замерзанию. В то время об условиях в проливе Мак-Мердо кое-что уже было известно. Например, в 1961 г. Дж. Литтлпейдж, тогда сотрудник Стэнфордского университета, установил, что средняя годовая температура в проливе Мак-Мердо составляет $-1,87^{\circ}\text{C}$, варьируя в небольших пределах — всего от $-1,4$ до $-2,15^{\circ}\text{C}$. Во время южного лета, с

декабря по февраль, температура поднимается от $-1,9$ до $-1,8$ °С. Даже летом вода подо льдом получает менее 1% падающего на поверхность солнечного света, но и это существенно по сравнению с абсолютной темнотой, которая царит 4 месяца в году.

Но большую опасность, чем темнота и холод, для рыб представляет «многоэтажный» лед. Не меньше 10 месяцев в году на воде лежит слой льда толщиной 2—3 м или более. Летом штормы обычно взламывают лед и очищают поверхность моря, но каждый год этот слой нарастает вновь. Снизу к покрову ежегодного льда примыкает еще 1—2 м блинчатого льда (большие удлиненные кристаллы, слабо спаянные друг с другом), который начинает исчезать в середине декабря. На протяжении части года еще один этаж — так называемый лед-стояк, — образованный крупными кристаллами, покрывает

дно пролива в тех местах, где глубина не превосходит 30 м.

В 1950-х годах было установлено, в чем состоит опасность льда для рыб: лед легко проникает в их жабры и покровы. Рыбы — холоднокровные животные и температура тела у них практически такая же, как температура окружающей среды. Рыба еще может выжить, если ее кровь охладится на 1° ниже своей точки замерзания, т. е. на градус ниже температуры, при которой в крови образуются кристаллы льда. В этом переохлажденном состоянии жидкости организма могут оставаться незамерзшими, но только в том случае, если в тело не проник лед. Если же рыба находится среди льда, то лед может легко проникнуть сквозь покровы и вызвать замерзание жидкостей тела даже при переохлаждении всего на 0,1°. Большинство рыб тропического и умеренного пояса в присутствии льда замер-

зает при охлаждении жидкостей тела до $-0,8$ °С, а нототениевые из пролива Мак-Мердо — только при охлаждении до приблизительно $-2,2$ °С.

РАСПОЛАГАЯ этими сведениями, Де Фриз и его ученики приступили к определению относительного вклада различных веществ в снижение точки замерзания у рыб из пролива Мак-Мердо. В жидкостях тела большинства морских рыб депрессия (т. е. уменьшение температуры замерзания) ниже 0 °С (стандартная температура замерзания чистой воды) примерно на 85% обеспечивается солями, в особенности хлористым натрием. Остальное можно отнести на счет небольших количеств калия, кальция, мочевины, глюкозы и аминокислот — обычных компонентов крови и прочих жидкостей тела. А у рыб из пролива Мак-Мердо, как выяснилось, хлористый натрий и другие ионы и



ТИПИЧНАЯ НОТОТЕНИЕВАЯ РЫБА, *Trematomus nicolai*, живет, питается и размножается на дне моря. Подотряд Notothenioidae объединяет костистых окунеобразных рыб.

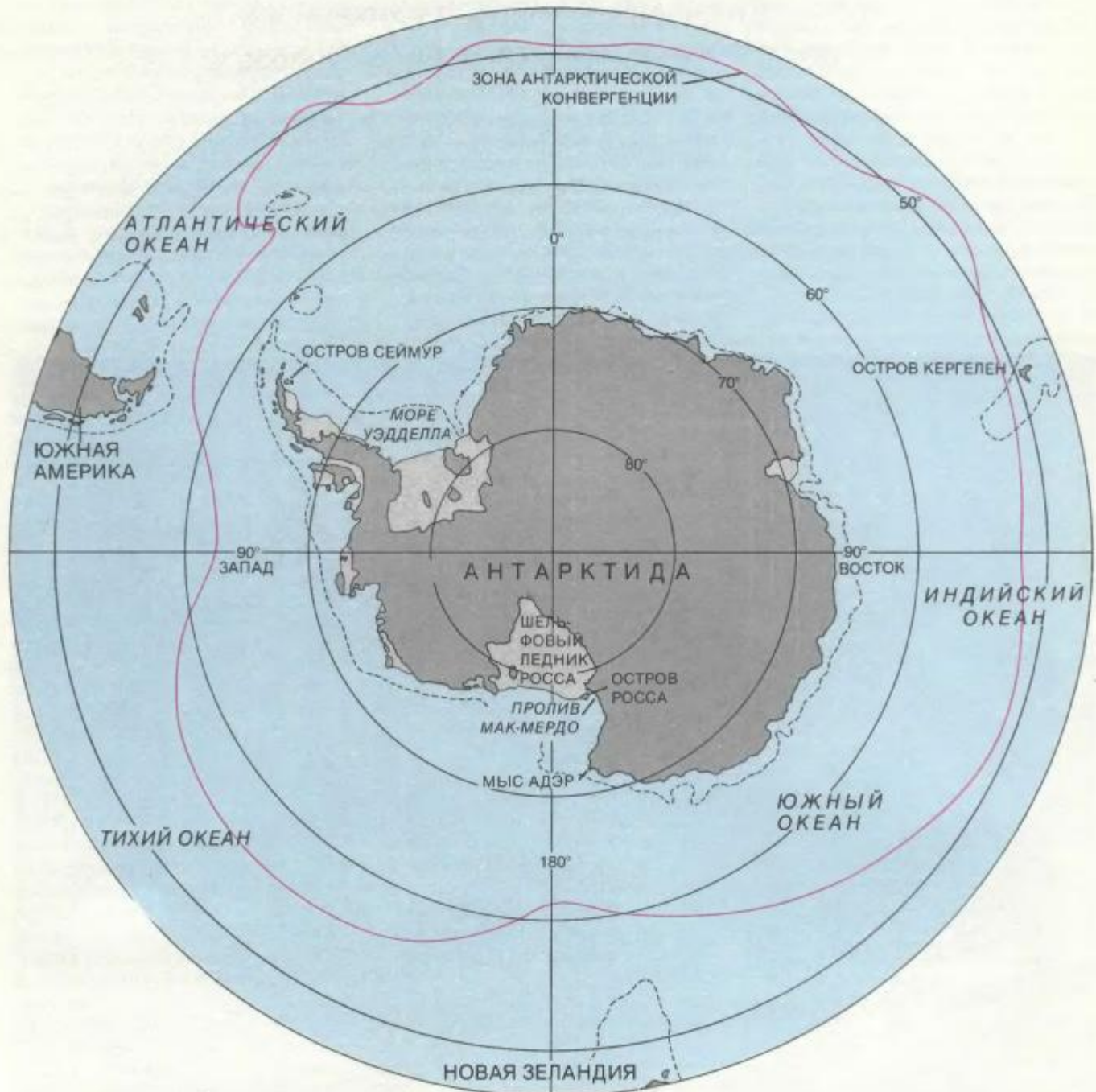
В Антарктике нототениевые являются доминирующей группой: они составляют 90% особей всех рыб этого района.

мелкие молекулы обеспечивают только 40—50% депрессии, хотя у антарктических рыб концентрация этих веществ несколько выше, чем у рыб морских вод умеренного пояса. Низкая точка замерзания — и в конце концов выживание — у антарктических рыб обусловлена в основном восемью разными соединениями-антифризами, которые найдены у большинства

изученных видов нототениевых рыб. Полный набор этих веществ имеется обычно почти во всех жидкостях организма (исключение составляют моча и жидкость глаза) и в цитоплазме почти всех клеток. По весу на долю антифризов приходится 3,5% веса жидкостей тела.

Антифризы представляют собой гликопептиды. Молекула такого ве-

щества состоит из повторяющихся единиц, каждая из которых образована цепочкой из трех аминокислот и дисахаридом, ковалентно связанным с третьей аминокислотой (см. верхний рисунок на с. 61). Разные антифризы отличаются друг от друга в основном размерами молекулы. Для удобства каждому гликопептиду присвоен номер в соответствии с его



ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ антарктической области, возможно, повлияли на эволюцию нототениевых рыб. К таким особенностям относятся узкий глубокий континентальный шельф и зона резкого изменения термических условий — антарктическая конвергенция (показана красной линией). Глубина вод уже очень близко от берегов Антарктиды достигает 1000 м (пунктир), поэтому остается мало местобитаний, пригодных для мелководных рыб, которые в противном случае могли бы конкурировать с но-

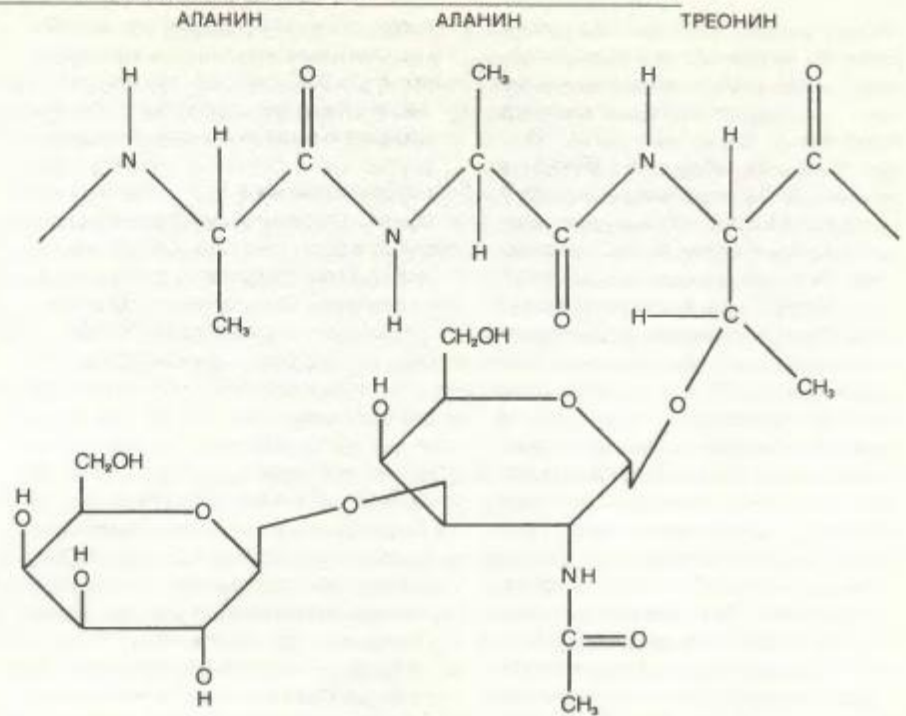
тотениевыми. Антарктическая конвергенция образует северную границу «Южного океана» (здесь смешиваются воды Атлантического, Тихого и Индийского океанов) и препятствует проникновению на юг теплых поверхностных вод. Формирование конвергенции, вероятно, способствовало охлаждению Южного океана и, следовательно, эволюции нототениевых под влиянием холода. Ныне температура в Южном океане редко поднимается выше 2 °С.

молекулярной массой; самая крупная молекула (мол. масса 33 700 дальтон) получила № 1, самая маленькая (мол. масса 2600 дальтон) — № 8. В гликопептидах с № 1 по № 5 повторяющейся тройкой аминокислот является последовательность аланин—аланин—треонин, в остальных гликопептидах некоторые аланиновые остатки заменены остатками пролина. С увеличением молекулярной массы способность понижать точку замерзания возрастает, но все эти вещества действуют, видимо, сходным образом.

ЧТОБЫ понять, каким образом антифризы нототениевых понижают температуру замерзания жидкостей, сравним механизм их действия с механизмом действия более привычных растворенных компонентов жидкостей тела — глюкозы и хлористого натрия. Температура замерзания большинства растворов зависит от их коллигативных свойств, т. е. от количества растворенных частиц, а не от их природы. Чем больше частиц присутствует в растворе, тем меньше у молекул воды возможности агрегировать и образовать зародыш кристалла льда. Хлористый натрий понижает точку замерзания водного раствора приблизительно вдвое сильнее, чем глюкоза, так как эта соль диссоциирует и каждая молекула дает две частицы — ионы натрия и хлора. Гликопептидные антифризы действуют иначе, не коллигативно. Они могут понизить температуру замерзания в 200-300 раз сильнее, чем этого можно было бы ожидать исходя из количества частиц. (Температура таяния также понижается, но не намного и в соответствии с коллигативными свойствами.)

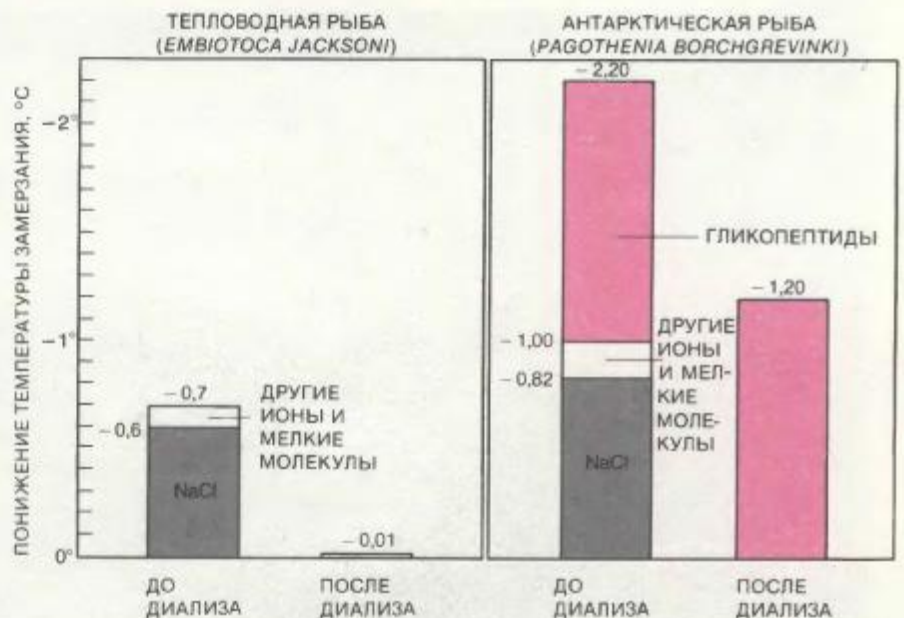
Каков же механизм, посредством которого эти неколлигативные антифризы предохраняют рыб пролива Мак-Мердо от замерзания в насыщенной льдом воде? Химики давно знают, что адсорбированные примеси могут задерживать рост небольших кристаллов и что особенно эффективны примеси, молекулы которых состоят из большого числа повторяющихся субъединиц. Де Фриз предположил, что гликопептидные антифризы понижают температуру замерзания потому, что адсорбируются на мельчайших кристалликах льда и тем самым не дают им расти. Гипотеза подтвердилась. Де Фриз и его ученики Дж. Дьюэн и Дж. Рэймонд, работавшие тогда в Скриппсовском океанографическом институте, обнаружили, что гликопептиды в самом деле адсорбируются на образующемся льду.

Эти события, разыгрывающиеся на



ДИСАХАРИД

АНТИФРИЗЫ нототениевых представляют собой гликопептиды. Молекула гликопептида состоит из множества повторяющихся единиц. Здесь изображена структура основной единицы: она образована цепочкой из трех аминокислот и дисахаридом, ковалентно связанным с третьей аминокислотой. Разные гликопептиды различаются главным образом молекулярной массой, в соответствии с которой они и обозначаются (№ 1 — самый крупный, мол. масса 33 700 дальтон, № 8 — самый маленький, мол. масса 2600 дальтон). В гликопептидах №№ 1 — 5 повторяющимся элементом полипептидной цепи является последовательность аланин—аланин—треонин, показанная на рисунке.



СРАВНЕНИЕ ПЛАЗМЫ КРОВИ тихоокеанского окуня (тепловодная рыба) и одной из антарктических нототениевых рыб. Ясно видны различия в температуре замерзания и составе. Определялась точка замерзания до и после диализа, в результате которого из плазмы удаляются частицы с мол. массой меньше 1000 дальтон. До диализа плазма тихоокеанского окуня замерзала при $-0,7^{\circ}\text{C}$, а после при $-0,01^{\circ}\text{C}$, что, в сущности, уже не отличается от точки замерзания чистой воды (0°C). Следовательно, у тихоокеанского окуня депрессия (т. е. уменьшение температуры замерзания плазмы ниже нуля) обусловлена присутствием мелких частиц. Точка замерзания плазмы нототениевой рыбы до диализа $-2,20^{\circ}\text{C}$, после диализа $-1,20^{\circ}\text{C}$. Значительная остаточная депрессия указывает, что существенный вклад в нее вносят частицы размером больше 1000 дальтон. Фактически они обеспечивают депрессию примерно наполовину.

молекулярном уровне, трудно увидеть, но возможно их правдоподобное описание. Мы полагаем, что в тех местах поверхности льда, где адсорбировались молекулы гликопептидов, дальнейшая кристаллизация воды происходить не может и лед нарастает только в тесных пространствах между ними (см. иллюстрацию на с. 64). К тому же в растущих участках поверхность льда получается искривленной, и, следовательно, отношение его площади к объему оказывается велико. При такой поверхности лед неизбежно теряет молекулы воды, отдавая их в окружающую жидкость, а это явление замедляет нарастание льда, и чтобы молекулы воды присоединялись к поверхности льда, температура окружающей жидкости должна быть уменьшена. Иными словами, точка замерзания жидкости понижается из-за образования искривленных поверхностей кристаллической фазы.

Хотя в рамках этой гипотезы можно предположить, что кристаллы льда образуются в жидкостях тела и только потом их рост блокируется молекулами антифризов, недавно проведенные эксперименты свидетельствуют о другом. Когда ното-

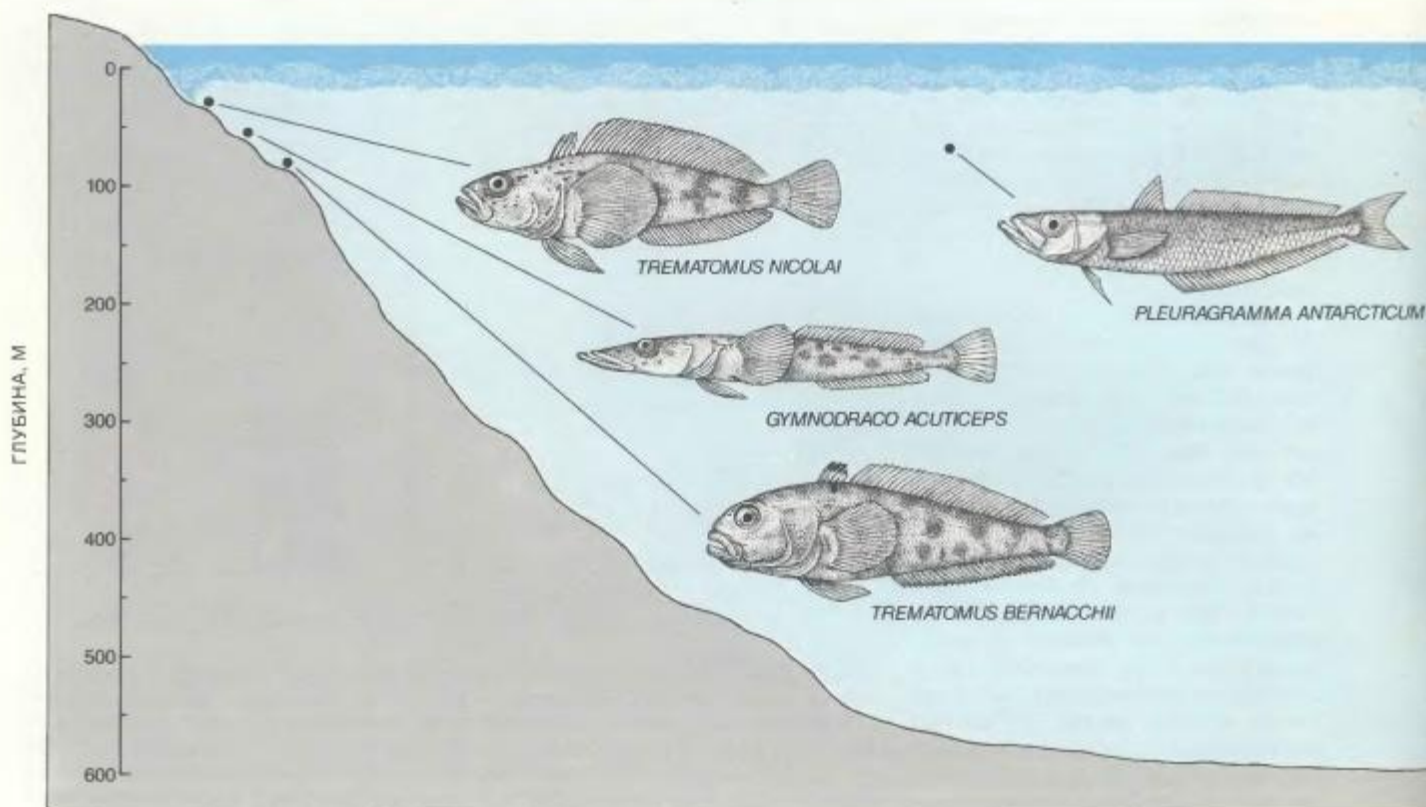
тенивых рыб помешали в воду без льда, они не замерзали до тех пор, пока температуру не понижали до $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Видимо, кристаллы льда обычно не зарождаются внутри тела, если лед не попадает туда снаружи. Значит, основную угрозу для выживания нототениевых рыб в условиях холода представляет лед, находящийся снаружи, в окружающей воде, и роль гликопептидов заключается, вероятно, в том, чтобы не дать льду проникнуть в тело извне через покровы. Такое предположение подтверждается некоторыми данными. Если очищенную от чешуи кожу промыть с внутренней поверхности соевым раствором, содержащим молекулы антифриза, то она становится непроницаемой для находящегося с наружной стороны льда. Если же антифриза нет, то лед, разрастаясь, быстро проникает сквозь покровы.

Мы еще не знаем, каким образом молекулы антифриза связывают лед, в частности потому, что недостаточно представляем себе их пространственную структуру в растворе. Известно, что гидроксильные ($-\text{OH}$) и другие полярные группы торчат в стороны от «скелета» молекулы. Скорее

всего, именно эти группы связываются со льдом. В самом деле, нам удалось показать, что гидроксильные группы, принадлежащие остаткам сахаров, необходимы для функционирования гликопептида в качестве антифриза. Если эти гидроксилы инактивировать (например, добавив ацильные группы $\text{CH}_3\text{CO}-$), то молекулы гликопептида теряют антифризные свойства.

Полярные группы в принципе могут образовывать водородные связи с молекулами воды в кристаллической решетке льда, которая имеет гексагональную структуру с атомами кислорода в углах шестиугольников. Для образования максимально возможного числа водородных связей между льдом и гликопептидом нужна определенная пространственная согласованность между ними. Это значит, что полярные группы гликопептида должны отстоять друг от друга на такое же расстояние, как и атомы кислорода в нарастающем фронте кристаллической решетки льда.

Эти идеальные условия могут реализоваться в действительности. Модели гликопептидов показывают, что многие из гидроксильных групп



СЕМЬ ВИДОВ НОТОТЕНИЕВЫХ, обитающих в проливе Мак-Мердо. Всего их там водится 14 видов, а в Южном океане в целом — 90. Многие нототениевые, такие, как *Trematomus nicolai*, *T. bernacchii*, *T. loennbergii* и *Gymnodraco acuti-*

seps, живут на дне моря или вблизи него, хотя и на разных глубинах. (Точками показаны типичные глубины обитания; некоторые рыбы живут в большем диапазоне глубин, чем здесь изображено.) Некоторые из нототениевых более не

остатков сахаров разделены промежутками величиной $4,5 \text{ \AA}$ — это в точности то расстояние, которое разделяет некоторые из атомов кислорода в горизонтальной плоскости кристаллической решетки льда. Гликопептиды могут связываться со льдом также карбонильными группами ($-\text{CO}-$) аминокислот. Возможно, в молекуле гликопептида дисахаридные остатки как-то удерживают полипептидную цепь в расправленной конформации. В этих условиях все выступающие карбонильные группы принадлежали бы одинаковым повторяющимся участкам полипептида и находились бы на расстоянии около $7,3 \text{ \AA}$ друг от друга. Определенным образом расположенные атомы кислорода в кристаллической решетке льда разделены именно таким расстоянием.

НЕЗАВИСИМО от того, как действуют антифризы, нототениевым рыбам, живущим в проливе Мак-Мердо, они нужны, безусловно, круглый год. Это создает интересную проблему. Антарктические рыбы располагают ограниченными запасами энергии и должны ее сохранять, осо-

бенно южной зимой, когда продуктивность экосистемы особенно низка. Как им удается обеспечивать необходимое пополнение антифризов, не затрачивая при этом много энергии на их синтез?

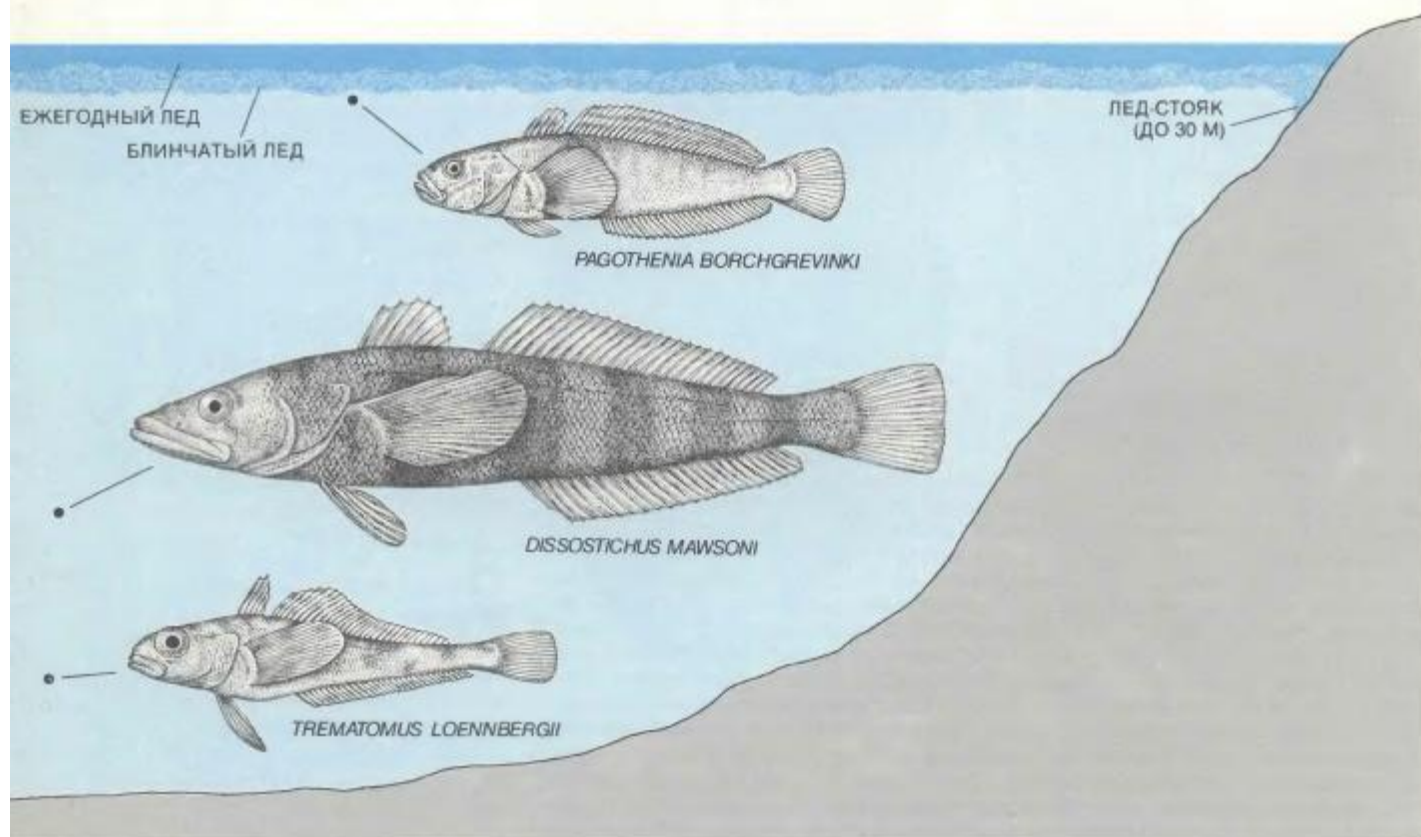
Тот факт, что у нототениевых молекулы антифризов отсутствуют в моче, свидетельствует, что в сохранении антифризов играет роль какой-то механизм, имеющий отношение к почкам. У большинства позвоночных гликопептидные антифризы, представляющие собой относительно небольшие молекулы, наверняка попадали бы в мочу через почечные клубочки — особые капиллярные структуры, в которых фильтруется кровь. Обычно вследствие внутриклубочкового давления молекулы с мол. массой меньше $40\,000$ дальтон переходят из крови внутрь трубочек, собирающих мочу. Теоретически при такой системе выделения антифризы могут возвращаться в кровь до того, как покинут собирательные трубочки. Для этого их молекулы нужно разъединить на мелкие составные части — аминокислоты и сахара, вернуть эти компоненты из мочи в кровь, а потом вновь синтезировать из них гликопеп-

тиды. Однако цена такого процесса была бы высокой: каждая связь между двумя аминокислотами стоила бы две единицы энергии*.

В 1972 г. Де Фриз и его ученик Г. Доббс III, работавшие тогда в Скриппсовском институте, исследовали почки нототениевых под микроскопом. Они обнаружили, что у всех 12 исследованных видов клубочки отсутствовали. А в опытах с молекулами антифризов, меченными радиоактивным изотопом, выяснилось, что у них гликопептиды вообще не попадают в мочу. В отсутствие клубочков моча у этих рыб образуется путем секретиции. Клетки стенок трубочек избирательно удаляют из крови только отходы, оставляя антифризы в кровяном русле. Таким образом, отпадает необходимость в повторном синтезе гликопептидов и экономится энергия.

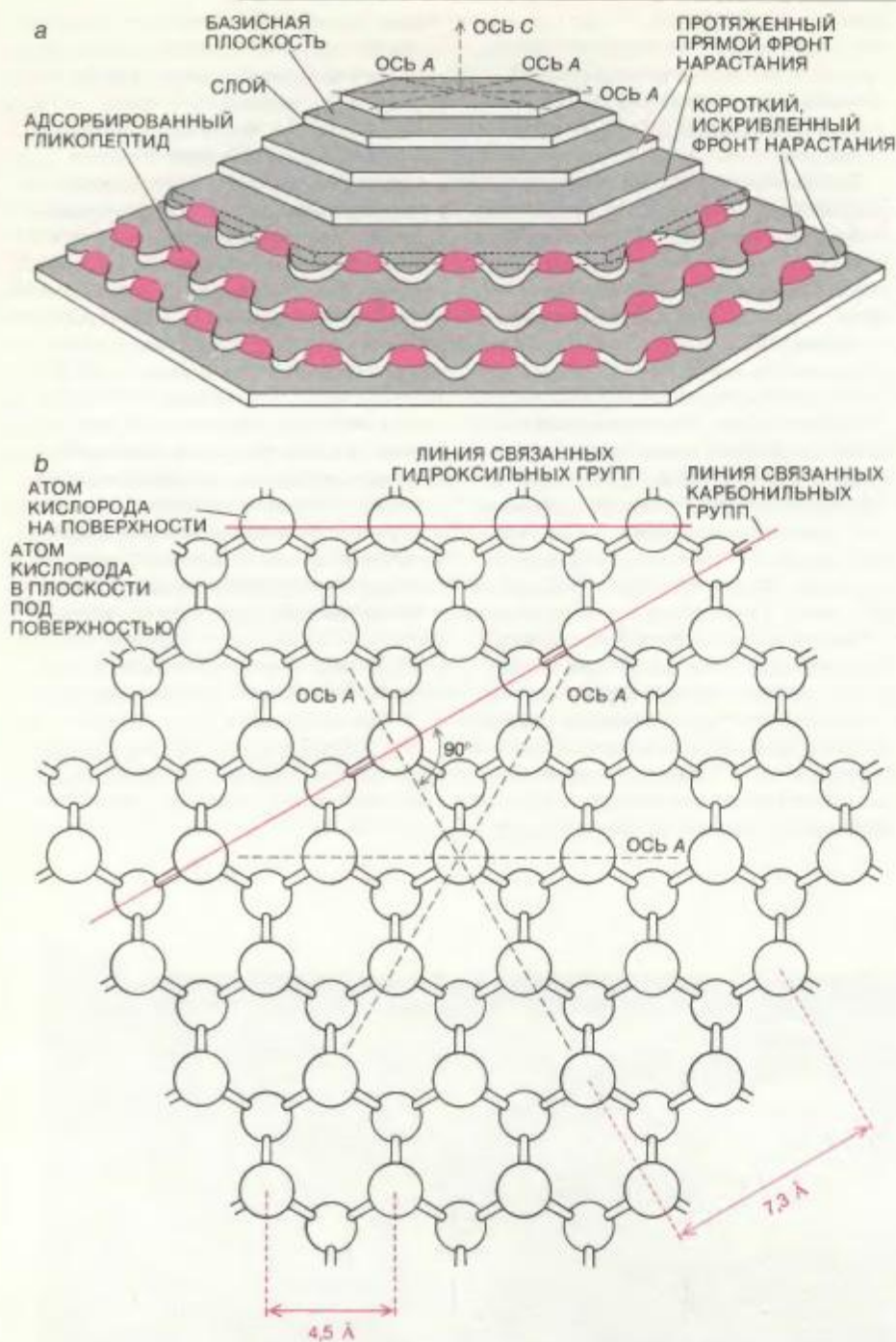
Мы не можем утверждать с уверенностью, что в процессе эволюции бесклубочковые почки нототениевых из пролива Мак-Мердо сформировались

* Для образования одной пептидной связи требуется разрыв по крайней мере трех высокоэнергетических связей. — Прим. ред.



связаны с дном, в частности *Dissostichus mawsoni*, *Pleuragramma antarcticum*, заселившие толщу вод от указанных глубин до 500 м , и *Pagothernia borchgrevinki*, которая приспособилась к жизни под поверхностью и в толще

блинчатого льда. *Dissostichus* нарисован немного крупнее, чем остальные рыбы; на самом деле он в 6 раз длиннее и в 250 раз тяжелее большинства нототениевых.



ГЛИКОПЕПТИДЫ, адсорбируясь на поверхности льда, препятствуют дальнейшей кристаллизации (а). Кристалл льда растет, если молекулы воды из окружающей жидкости присоединяются к слоям кристалла в его базисной (на рисунке горизонтальной) плоскости. Слои разрастаются в базисной плоскости от центра к периферии длинными прямыми фронтами. Те фронты, которые наталкиваются на молекулы гликопептидного антифриза, связавшиеся с базисной поверхностью нижележащего слоя, распадаются на много мелких зон нарастания и сильно искривляются. В результате отношение поверхности к объему в этих участках льда становится большим, и рост кристалла останавливается, если только не снижается температура раствора. Как молекулы антифриза связываются со льдом, точно не известно, но есть указания на то, что связи образуются на поверхности слоев в базисной плоскости (в). Молекулы воды в кристалле льда организованы в шестиугольники, в углах которых находятся атомы кислорода (незакрашенные кружки). На молекулярных моделях видно, что в гликопептидах некоторые из гидроксильных групп остатков сахаров расположены на расстоянии $4,5 \text{ \AA}$ друг от друга. Такое же расстояние разделяет атомы кислорода, лежащие в базисной плоскости на прямых, параллельных оси A . Если молекула гликопептида находится в полностью расправленной конформации, то между карбонильными группами полипептидной цепи имеются промежутки примерно в $7,3 \text{ \AA}$. Приблизительно на то же расстояние отстоят друг от друга атомы кислорода, лежащие в базисной плоскости в рядах, перпендикулярных оси A .

специально для того, чтобы сохранять антифризы и энергию, но важная роль почек в выполнении этой функции согласуется с такой гипотезой. Более того, недавно мы обнаружили, что у новозеландской рыбы *Bovichtys variegatus* — одного из немногих видов нототениевых, живущих в умеренных широтах, — имеется множество почечных клубочков. Этот вид принадлежит к наименее специализированным нототениевым, и присутствие у него клубочков свидетельствует, что особое строение почек у остальных нототениевых представляет собой специальную адаптацию, которая, возможно, возникла как средство выживания в холодной воде.

Нейтральная плавучесть, которой отличаются по крайней мере два вида нототениевых рыб, — еще один пример эволюционной адаптации, позволяющей сохранять энергию. Эту особенность мы обнаружили лет десять назад, когда поймали несколько экземпляров самой крупной из известных нототениевых рыб — антарктического клякача *Dissostichus mawsoni*. (Обычно нототениевые бывают от 15 до 30 см длиной, тогда как типичный антарктический клякач имеет длину 127 см и весит 28 кг.) Мы опускали леску на глубину от 300 до 500 м и вначале думали, что эти рыбы специально покидают свои местообитания на дне моря, чтобы схватить приманку с крючка. Однако в том зародились сомнения, когда мы обратили внимание на обтекаемую форму тела *Dissostichus*, что характерно для обитателей толще воды. Такой же профиль был у более мелкого вида нототениевых — *Pleuragramma antarcticum*, на долю которого приходилось 70% содержимого желудка *Dissostichus*. По видимому, и *Dissostichus*, и его жертва представляют боковые ветви филогенетического древа нототениевых: они приспособились к жизни в толще воды и сильно видоизменены по сравнению с типичными нототениевыми, обитающими на дне.

В 1978 г. мы начали исследования, в которых собирались выяснить, обладают ли *Dissostichus* и *Pleuragramma* достаточной плавучестью, которой можно было бы объяснить их способность успешно существовать в толще воды, и если это так, то какими адаптациями эта плавучесть обеспечивается. Нейтральная плавучесть представляет собой относительный показатель: вес рыбы в воде делят на ее вес вне воды и умножают полученную величину на 100. Чем ближе результат к нулю, тем ближе плавучесть рыбы к нейтральной. Среднее значение для *Dissostichus* со-

ставило 0,01, для *Pleuragramma* 0,6 (величины, достаточно близкие к нулю, чтобы считать плавучесть этих видов нейтральной).

При вскрытии *Dissostichus* и *Pleuragramma* оказалось, что, как мы и ожидали, эти рыбы, так же как их обитающие на дне родственники, не имеют плавательного пузыря — наполненного газом мешка, который обычно обеспечивает рыбам нейтральную плавучесть. Следовало искать иную причину нейтральной плавучести. Одна из очевидных возможностей снижения удельного веса — редукция костного вещества скелета, которое является, как правило, самым плотным компонентом тела. Эту идею мы исследовали при помощи обыкновенного кухонного ножа из кают-кампании. Нож легко проходил сквозь череп *Dissostichus*, состоявший в основном из хрящей, так же как скелет хвоста и плечевого пояса, где тоже должен бы быть мощный костяк. Хрящ имеет значительно меньшую плотность, чем кость, и замена костной ткани на хрящевую существенно уменьшает вес тела.

Для того чтобы оценить степень минерализации скелета количественно, мы сжигали до золы скелеты *Dissostichus*, *Pleuragramma* и обитателя дна — *Bovichtys*. При этом органическое вещество сгорало, и продукты его окисления испарялись, так что оставались только минеральные компоненты скелета. Эти остатки составили 0,6% веса тела у *Dissostichus* и 0,3% у *Pleuragramma*, что явно отличается от величины 3,8%, которая получилась для *Bovichtys*.

Такие результаты не удивительны, но нас ждало другое открытие. Пузырек воздуха, каким-то образом попавший внутрь позвоночного столба частично вскрытой *Pleuragramma*, двигался там взад и вперед, когда рыбу покачивали, как доску детских качелей. У большинства рыб это невозможно: позвоночный столб, на который у них приходится большая часть веса скелета, представляет собой сплошную кость. У *Pleuragramma* же, как оказалось, позвоночник в сущности пустотелый. Тонкая костяная оболочка окружает желеобразный нотохорд — эмбриональную структуру, которая сохраняется у взрослого животного.

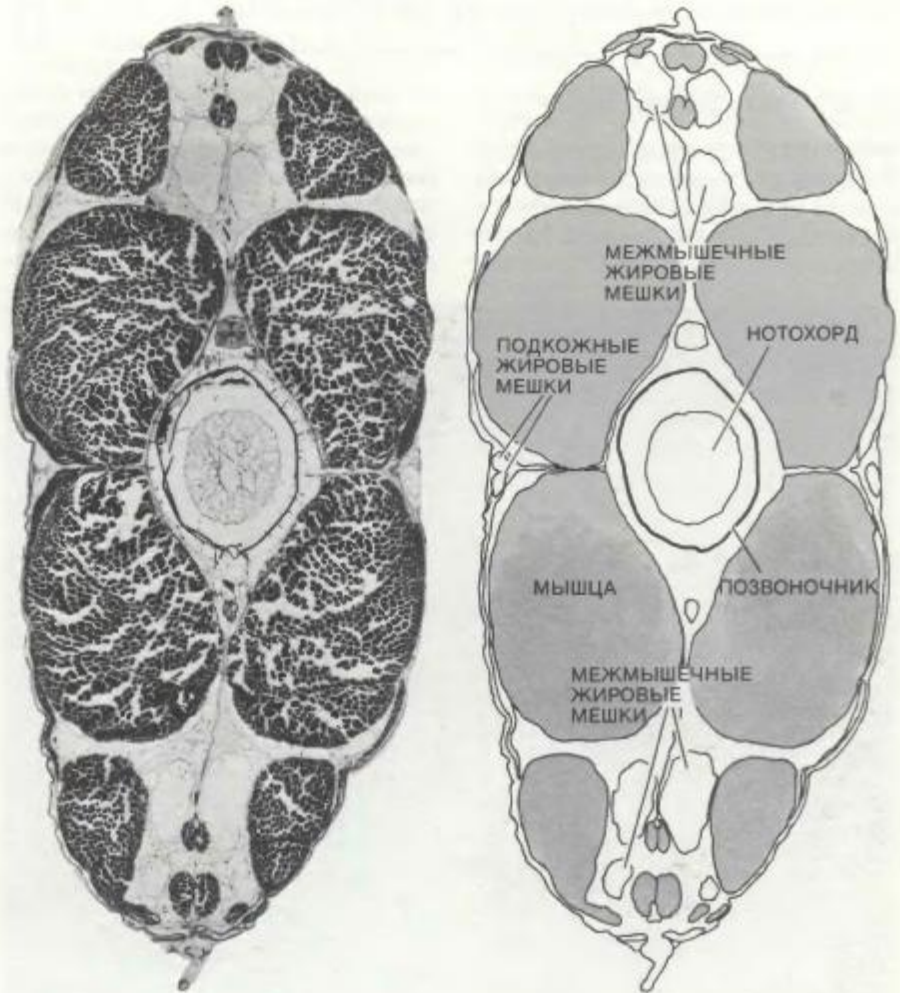
Кроме редукции костей, плавучести должно также способствовать наличие триглицеридов. (Триглицериды — один из классов липидов, или жировых веществ; плотность липидов значительно меньше, чем воды.) И у *Dissostichus*, и у *Pleuragramma* имеются запасы триглицеридов, но хранятся они у этих двух видов в разной форме. Поперечный срез *Dissos-*

tichus блестит от жира, заполняющего жировые клетки, сконцентрированные преимущественно в двух местах — в похожем на ворвань подкожном слое толщиной 2—8 мм (он составляет 4,7% веса тела) и в мелких отложениях, рассеянных среди мышечных волокон туловища (на них приходится 4,8% веса тела). *Pleuragramma* обладает иным способом хранения жира, уникальным среди позвоночных, — он содержится не в клетках, а в своего рода мешках диаметром от 0,2 до 3 мм. Эти мешки во множестве находятся под кожей в грудной области, вблизи от центра тяжести. Самые крупные мешки располагаются глубже в теле, между мускулами.

Пока неясно, какова выгода хранения жира в мешках по сравнению с внутриклеточным запасанием. Снача-

ла мы думали, что жировые мешки предназначены исключительно для поддержания плавучести и что этот жир не используется в качестве источника энергии. У *Pleuragramma* есть немало жировых клеток, и казалось, что именно они имеют значение в утилизации липидов. Но недавно мы обнаружили, что в примыкающих к мешкам мышечных клетках имеются крупные вакуоли (окруженные мембранами полости), которые, возможно, содержат триглицериды. Вероятно, мускулы пополняют запасы липидов в мешках ради плавучести и потребляют их как источник энергии. Мы надеемся проверить эту гипотезу во время ближайшей поездки на исследовательскую станцию в проливе Мак-Мердо.

Редукцией скелета и отложением липидов вместе можно объяснить



ПОПЕРЕЧНЫЙ СРЕЗ *Pleuragramma* выявляет особенности, обеспечивающие ее нейтральную плавучесть, т. е. невесомость в воде. Нейтральная плавучесть дает возможность этой рыбе жить в толще воды, не затрачивая энергии на то, чтобы держаться на плаву. Выдающийся признак — наличие особых мешков, содержащих жировые вещества — липиды. Плотность липидов меньше плотности воды, поэтому их запасы уменьшают вес тела в воде. Нейтральной плавучести способствует также то, что позвоночный столб не сплошной, как у большинства костистых рыб: внутри него находится желеобразная структура — нотохорд, который гораздо легче кости. (Из-за фиксации, необходимой для микроскопирования, нотохорд сморщился и отделился от кости.)

уменьшение удельного веса и достижение нейтральной плавучести и у *Dissostichus*, и у *Pleuragramma*. Нейтральная плавучесть, несомненно, облегчает этим рыбам завоевание толщи антарктических вод, мало используемой другими организмами. Действительно, в таких местообитаниях богато представлены оба вида: например, *Pleuragramma* в морях Уэдделла и Росса, как и в проливе Мак-Мердо, является доминирующим видом.

АДАПТАЦИИ, позволившие нототениевым расселиться в толще вод, замечательны с анатомической точки зрения. Но важен также их экологический смысл. Настало время пересмотреть традиционное представление о пищевой сети в толще вод. Обычно ее считают короткой, охва-

тывающей только растительные компоненты планктона, криль (похожие на креветок ракообразные), тюленей и китов. Однако мы и другие исследователи показали, что эта пищевая сеть гораздо сложнее: в нее следует включить нототениевых, обладающих нейтральной плавучестью, а возможно, также и другие организмы. В тех местах антарктических вод, где криля мало, его место в пищевой сети может занимать *Pleuragramma*. И наконец, наши исследования плавучести и антифризов, как мы надеемся, убеждают в том, что и на краю спектра внешних условий существуют широкие возможности для адаптаций и эволюции, а ведь раньше было общепризнанным, что самые холодные районы моря лишены сколь-нибудь заметно развитой жизни.

Наука и общество

Можно ли спасти панду

ГИГАНТСКАЯ панда близка к вымиранию. В настоящее время она водится лишь в немногочисленных бамбуковых лесах в западном Китае. Угроза исчезновения этого вида на-

столько актуальна, что в Китае организовано с десяток резерватов, взявших под опеку половину всех особей гигантской панды, численность которой по оценкам составляет лишь 1000 экземпляров. Готовятся также отряды для экстренного спасения жи-

вотных. В сотрудничестве с Международным фондом любителей диких животных Китай развернул большую исследовательскую работу с целью повысить успех размножения гигантской панды и разработать другие меры, могущие прекратить упадок вида и восстановить его численность.

Наиболее серьезная причина тревожного состояния вида — сокращение территорий, пригодной для обитания, вследствие деятельности человека, который «загнал» панду в изолированные местообитания, нанеся удар ее пищевым и репродуктивным ресурсам. Кроме того, многие животные испытывают недостаток еды из-за повсеместного отмирания бамбука, являющегося основной пищей гигантской панды. Растение бамбука, у которого на протяжении его жизни обычно постоянно образуются новые побеги от толстого корневища (подземного стебля), в определенный момент своего жизненного цикла (у разных видов бамбука продолжительность его различна, в среднем период цветения наступает через 50 лет) цветет, дает семена и отмирает. После того как это произойдет с популяцией бамбука какого-либо вида, она, естественно, перестает быть источником пищи для панды до тех пор, пока не разовьются новые растения, на что требуется 7 и более лет. В 1983 г. отмирание произошло с двумя подходящими для панды разновидностями бамбука. Прежде в таких случаях животные покидали свою территорию и спускались с гор в другие места, где имелись заросли бамбука. Однако теперь большая часть негорных земель занята крестьянскими и прочими хозяйствами, так что пандам некуда податься и они остаются без пищи.

Помимо разрушения местообитаний и отмирания бамбука есть и другие негативные факторы, усугубляющие плохое состояние вида. К их числу относятся браконьерство и проблемы размножения — высокая смертность детенышей и низкая рождаемость. Самки гигантской панды раньше рожали и успешно выкармливали по 1-2 детеныша за один раз, а сейчас могут вырастить лишь одного детеныша раз в три года. Из-за ограниченности местообитаний локальные популяции малочисленны и частым становится инбридинг. Инбридинг ведет к тому, что в фенотипе проявляются признаки, гены которых находились в рецессивном состоянии; среди таких признаков немало неблагоприятных, и у животных снижается устойчивость к болезням, ухудшается эффективность размножения. В результате инбридинга уменьшается генетическое разнообразие популяции,



ГИГАНТСКАЯ ПАНДА за едой. Основная ее пища — бамбук. В настоящее время этих животных осталось очень мало, они водятся только в бамбуковых зарослях западного Китая. Вид находится под угрозой исчезновения, так как из-за деятельности человека катастрофически сократились подходящие местообитания и пищевые ресурсы. Кроме того, ущерб наносит браконьерство. Снимок сделан в Национальном зоологическом парке США (Marty Stouffer Productions; предоставлен редакцией телепередачи *Animals, Animals*).

что ослабляет потенциальную способность популяции приспособляться к изменениям внешних условий.

В начатой в 1980 г. совместной работе исследователей из США, Китая и других стран у гигантской панды изучаются репродуктивный цикл и поведение, связанное с размножением. Цель этого — преодолеть трудности, возникающие при разведении панды в неволе. Если удастся осуществить спаривание и искусственное осеменение, можно будет выращивать детенышей и расселять их в природе, увеличивая таким путем размеры существующих популяций. Ученые занимались также оценкой условий и факторов, необходимых для выживания вида в естественной среде; эти знания позволят поселять животных, выращенных в неволе или спасенных из неподходящих местообитаний, в оптимальные для них условия.

В сентябре 1986 г. Международный фонд любителей диких животных и соответствующие организации Китая одобрили еще одну программу исследований, целью которой является оценка генетического разнообразия гигантской панды. Для этой работы приглашены С. О'Брайен из Национальных институтов здоровья и Дж. Найт из Зоологического сада в Дохе (Катар). Их задача — собрать образцы крови и по возможности других тканей у особей, живущих в резерватах. На этом материале предполагается идентифицировать и сравнить аллели примерно 60 генов локусов. О'Брайен таким методом установил, что гепард, также находящийся под

угрозой вымирания, отличается крайним генетическим однообразием, по всей вероятности, вследствие высокой степени инбридинга. (См. статью: С. О'Брайен, Д. Вилдт, М. Буш. Гепард в генетической опасности. «В мире науки», 1986, № 7.) Если анализ тканей панды покажет значительную степень инбридинга, сотрудникам резерватов Китая следует принять меры для того, чтобы свести инбридинг к минимуму и обеспечить возможно большее скрещивание особей из различных популяций. «Изучая животных, — заметил О'Брайен, — человечество научилось очень многому. Настал черед использовать наши знания, чтобы помочь видам, находящимся в опасности».

Увидели невидимое

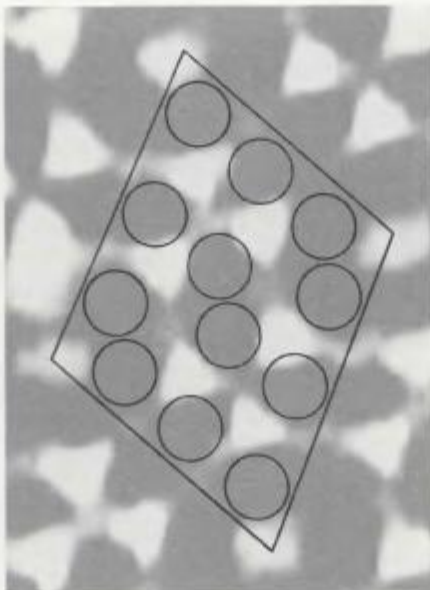
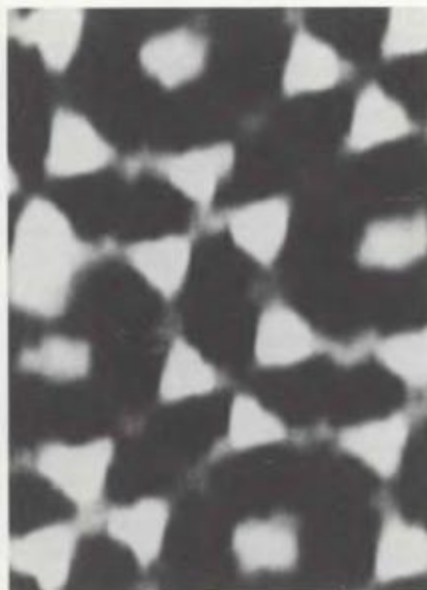
ВПЕРВЫЕ удалось увидеть связи, которые удерживают атомы в структуре твердого тела. Эксперимент, позволивший получить такое изображение, выполнен сотрудниками Исследовательского центра им. Т. Уотсона фирмы IBM в Йорктаун-Хейтсе (шт. Нью-Йорк) с помощью растрового туннельного микроскопа — прибора, позволяющего «видеть» отдельные атомы поверхности твердых тел.

Результаты проделанной работы опубликованы ее авторами Р. Хамерсом, Р. Тромпом и Дж. Демуттом в журнале "Physical Review Letters". В растровом туннельном микроскопе

между исследуемым образцом и острием зонда (в виде тонкой иглы) прикладывается напряжение. Когда острие приближается к поверхности на расстояние нескольких диаметров атома, электроны могут «туннелировать», или перетекать, через разделяющее их пространство. Явление туннелирования относится к области квантовой физики; оно обусловлено тем, что частицы ведут себя как волны и их положения в пространстве неопределенны.

Поток электронов, регистрируемый в виде электрического тока, зависит от расстояния между острием и исследуемой поверхностью. Чтобы получить изображение поверхности с «выступающими» атомами, она многократно сканируется острием. Высоту подъема острия над поверхностью непрерывно поддерживают такой, чтобы ток был постоянным, а изменения высоты регистрируют, и по ним можно реконструировать рельеф изучаемой поверхности.

Чтобы выявить связи между атомами, исследователи периодически прерывали сканирование, удерживая острие в фиксированном положении, и в это время изменяли напряжение. По характеру изменения тока им удалось построить карту, на которой видно, где расположены электроны, связывающие атомы поверхности.



АТОМНЫЕ СВЯЗИ видны как белые пятна между атомами кремния (темные пятна). Связи «выступают вверх» от второго слоя атомов в образце. Справа выделена элементарная ячейка кристалла кремния, которая имеет 12 атомов и повторяется по всей поверхности.

*Д. Хаузер, Дж. Хирт,
Б. Хоукис*

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.



Объекты и их свойства в зрительном восприятии человека

*Способность человека легко воспринимать осмысленные
целостности в окружающем его мире
определяется весьма сложными процессами.*

*Автоматически извлекаемые из видимой сцены признаки
собираются затем в целые объекты*

ЭНН ТРЕЙСМАН

ПРЕДСТАВЬТЕ СЕБЕ, что вы оказались в совершенно незнакомом городе. Первое, что вы там увидите, — это хорошо знакомые предметы, организованные в осмысленные целостности: дома, люди, автомобили, деревья. Вам и не придет в голову сначала определять цвета, контуры, расстояния, различать движения, а потом собирать все это в целые предметы, сравнивая их с хранящимися в вашей памяти образцами и названиями-ярлыками. Короче говоря, похоже, что в восприятии осмысленное целое предшествует своим частям и качествам. Именно так и думали психологи-гештальтисты много лет тому назад.

Эти процессы, которые происходят в нашей голове и на которые мы не затрачиваем никаких усилий, исключительно трудно понять или смоделировать на ЭВМ. Гораздо труднее, чем научиться таким сложным, по общему мнению, вещам, как игра в шахматы или решение логических задач. Восприятие значимых целостностей в видимом мире зависит от сложных операций, которые осуществляются человеком неосознанно и о которых можно судить только по косвенным данным.

Несмотря на эти трудности, не так давно начали появляться обобщенные и упрощенные описания процесса переработки зрительной информации у человека. Одно из таких описаний различает два уровня переработки. Частично переработка зрительной информации осуществляется как бы спонтанно, одновременно для всего поля зрения, и автоматически (без концентрации внимания на какой-либо части зрительного поля), а частично, похоже, зависит от концентрации внимания: информация обрабаты-

вается постадийно, как если бы пятно света перемешалось из одного места в другое.

В 1967 г. У. Найссер, работавший тогда в Пенсильванском университете, предположил, что на некотором предшествующем вниманию уровне переработки поле зрения разделяется на фигуры и фон, а на следующем уровне «включается» внимание и идентифицируются конкретные объекты. Несколько позднее сотрудник Массачусетского технологического института Д. Марр, занимавшийся компьютерным моделированием зрения, счел необходимым постулировать существование «первичного наброска» — первой ступени переработки информации, на которой падающий на рецепторы сетчатки поток света преобразуется в кодированное описание линий, пятен или контуров и их размещения, ориентации и цвета. Репрезентация поверхностей и объемов и, наконец, идентификация объекта происходят уже после такого первичного кодирования.

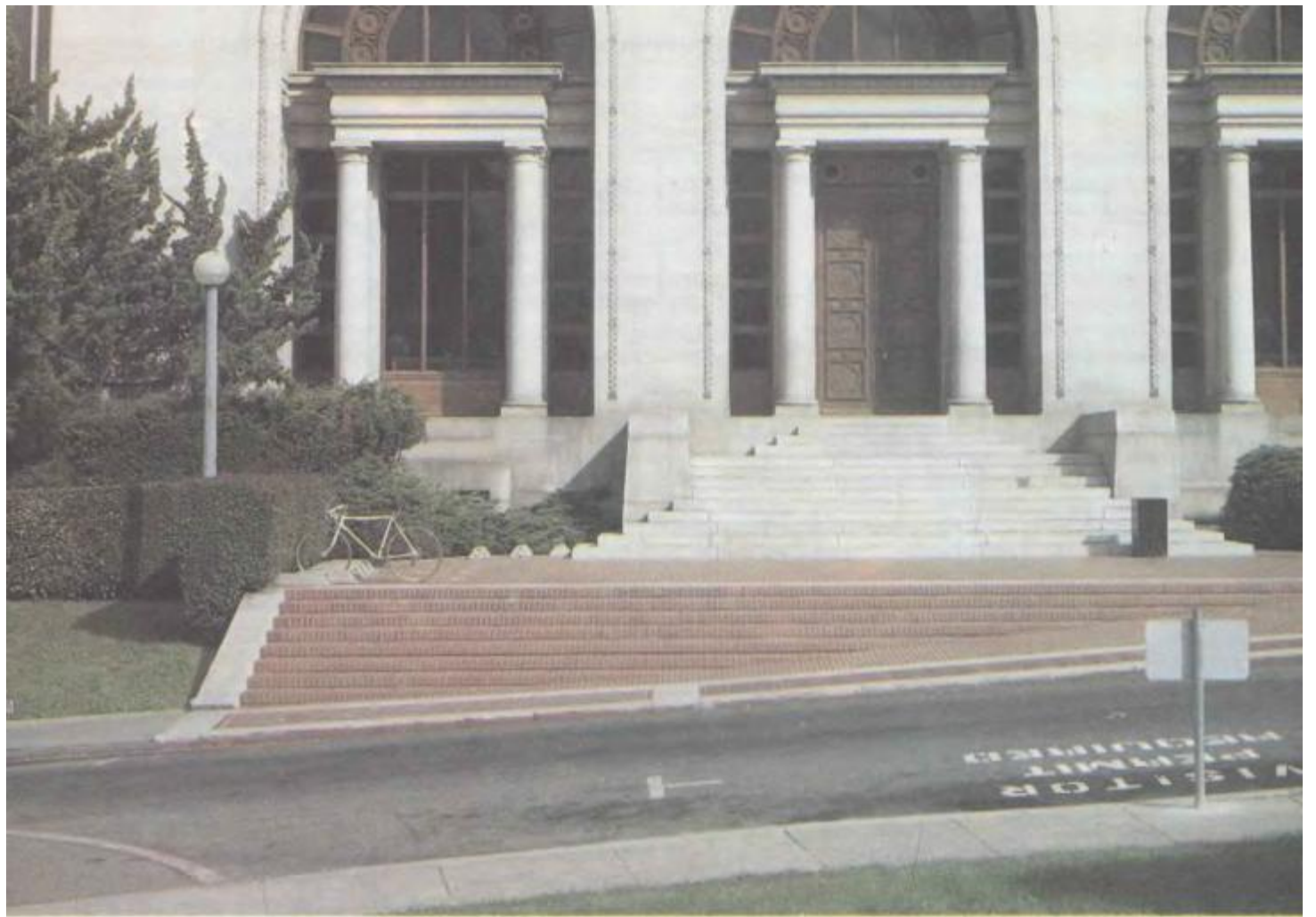
Модели с двумя и более ступенями переработки зрительной информации завоевывают все большую популярность у психологов, физиологов и специалистов по искусственному интеллекту. Первую ступень можно

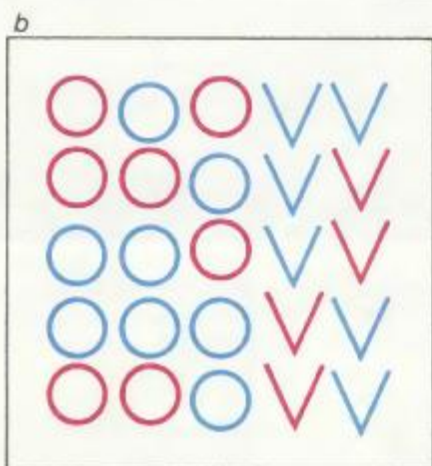
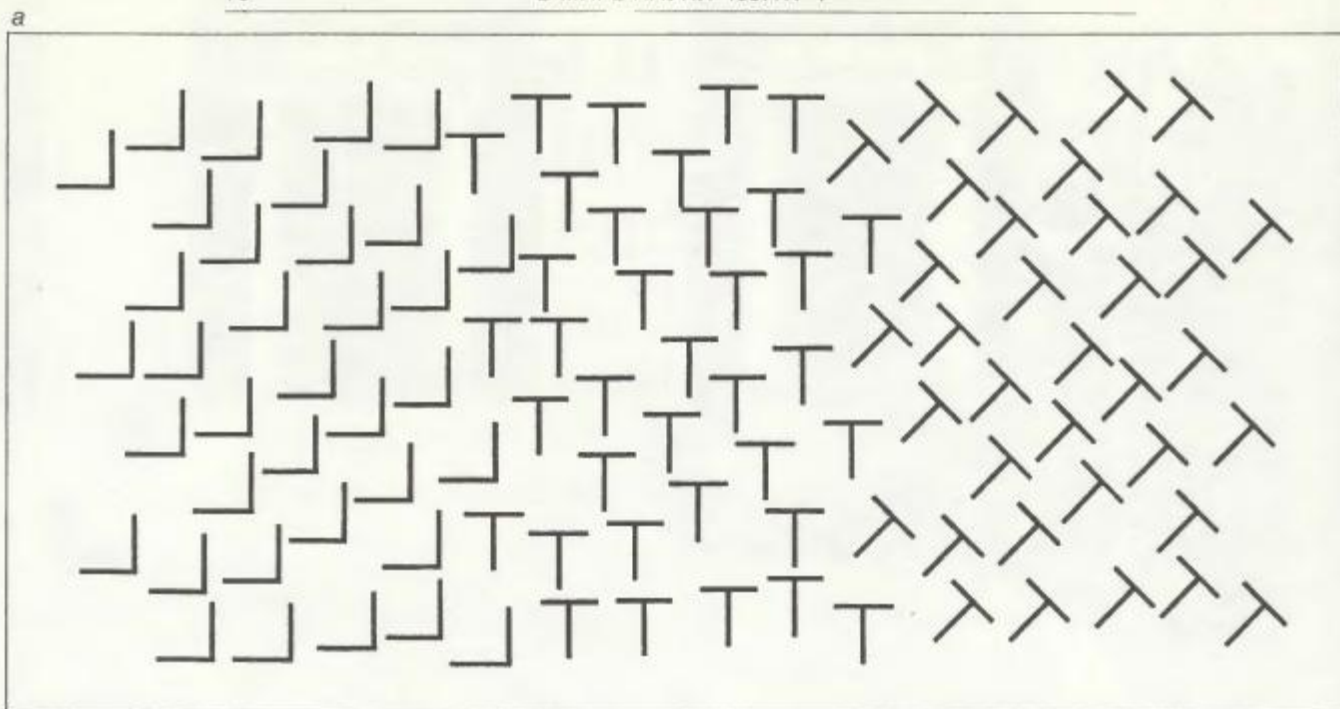
описать как извлечение признаков из пучка падающего света. На последующих ступенях происходит идентификация объекта и его окружения. Таким образом, слова «свойства» и «объекты», вынесенные в заголовок этой статьи, характеризуют зарождающуюся гипотезу о начальных стадиях зрительного восприятия.

МОЖНО, наверное, с достаточным основанием согласиться, что зрение действительно использует разложение стимулов на части и на качества специальными анализаторами и что нужны дополнительные операции для соединения этих частей и качеств в правильное целое. Об этом частично свидетельствуют данные анатомии и физиологии. Например, попытки проследить преобразование сенсорных данных приводят к выводу, что эти данные перерабатываются в разных зонах, имеющих весьма узкую специализацию. В одной зоне перерабатывается в основном информация о линиях и контурах, в другой — о цвете, в третьей — о направлениях движения. И только после переработки в этих зонах информация попадает в зоны, где происходит различение сложных реальных объектов.

Другая часть фактов относится к

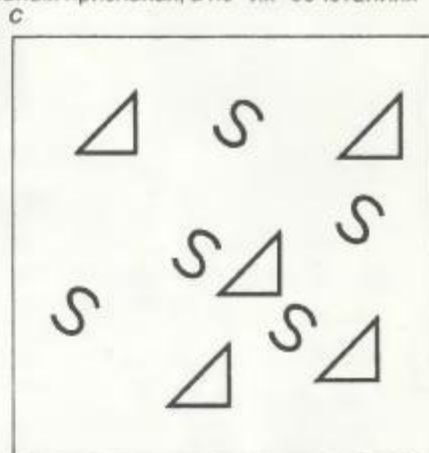
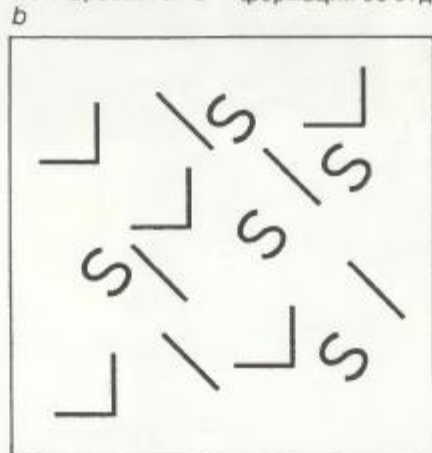
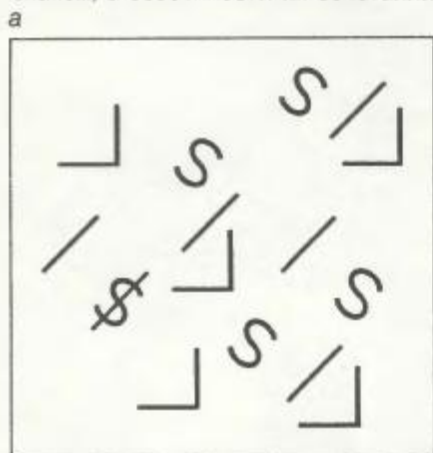
ЗНАНИЯ О МИРЕ «НАПРАВЛЯЮТ» зрительное восприятие, что обнаруживается в эксперименте, когда испытуемых просят найти знакомый объект (в данном случае велосипед) на фотографии обычной сценки (вверху) или на коллаже, составленном из кусочков той же фотографии (внизу). Поиск на коллаже требует большего времени. Отсюда следует, что знания о мире (ожидание вероятного местонахождения велосипеда в городском пейзаже) ускоряют восприятие и делают его менее подверженным ошибке. Однако на некоторых начальных стадиях переработка зрительной информации, лежащая в основе восприятия, вероятно, протекает автоматически, и знания о мире не оказывают на нее влияния. Данная иллюстрация основана на результатах экспериментов, выполненных И. Бидерманом из Университета шт. Нью-Йорк в Буффало.





БРОСАЮЩИЕСЯ В ГЛАЗА границы — это, вероятно, самые простые свойства видимого мира, которые ухватываются на начальной стадии переработки зрительной информации. Например, граница между прямыми и наклонными Т бросается в глаза, а между прямыми Т и L — нет (а). Следовательно, на ранней стадии переработки зрительной информации направление линий оказывается важным признаком, а особенности их сочетаний — нет. Бросается в

глаза и граница между группами O и V (b), из чего следует важность простых качеств формы (таких, как кривизна линий). «Выпячивается» и граница между красными и синими формами (c), что свидетельствует о важности цвета как признака. В то же время граница между объектами с различными сочетаниями цвета и формы (d) в глаза не бросается. Очевидно, что вначале перерабатывается только информация об отдельных признаках, а не их сочетаниях.



ИЛЛЮЗОРНЫЙ ЗНАК ДОЛЛАРА является примером ошибочного соединения признаков. Испытуемым предлагали найти знак доллара среди знаков S и отрезков прямых (а). Часто они видели знак доллара, когда на предъявлявшемся на короткое время изображении его на самом деле не

было (b). Почти то же самое повторялось, когда отрезок прямой, необходимый для «достройки» знака, был заключен в треугольник (c). Этот эксперимент показывает, что на начальной стадии наличие признака может устанавливаться вне связи с его местонахождением.

явлениям поведенческого характера. Например, похоже, что адаптация (явление, которое заключается в том, что зрительная система перестает реагировать на стабилизированный стимул) протекает по-разному по отношению к разным качествам наблюдаемой сцены. Если в течение нескольких минут пристально смотреть на водопад, а затем — на берег реки, то будет казаться, что берег движется в обратном направлении. В данном случае зрительные рецепторы как будто избирательно адаптировались к направлению движения независимо от того, что движется на самом деле. Берег выглядит совсем иначе, чем вода, и все же при взгляде на него проявляется эффект последствия адаптивного процесса.

Каким же образом можно исследовать в лаборатории ту стадию переработки зрительной информации, которая предшествует вниманию? Одну из стратегий исследования подсказывает тот очевидный факт, что в реальном мире части одного и того же объекта имеют общие качества: у них один цвет и текстура, их границы являются непрерывными прямыми или кривыми, они движутся вместе и находятся примерно на одинаковом расстоянии от наблюдателя. Поэтому исследователь может попросить испытуемых определить границы между участками изображений и получить таким образом информацию о тех свойствах объекта, которые делают границу «бросающейся в глаза», «выпячивающейся» из наблюдаемой сцены. Это, вероятно, и будут те самые качества объекта, которые зрительная система обычно использует для выделения фигуры из фона.

Оказывается, что хорошо различаются границы между элементами изображения, отличающимися простыми качествами: цветом, яркостью и ориентацией линий, но не между элементами, отличающимися способом сочетания качеств (см. верхний рисунок на с. 70). Например, зона прямых знаков **T** хорошо отделяется от зоны наклонных **T** и плохо от зоны знаков **L**, составленных из тех же элементов, что и **T** (горизонтальная и вертикальная прямые). Точно так же смесь из синих **V** и красных **O** не выделяется из смеси красных **V** и синих **O**. Похоже, что первоначальный «разбор» зрительного поля опирается на отдельные качества, а не на комбинации качеств. Другими словами, анализ качеств и частей предшествует их синтезу. А если части или качества идентифицируются до объединения в объекты, они должны иметь некоторый независимый психологический статус.

ОТСЮДА следует очень важное утверждение: иногда синтез должен происходить с ошибками. Другими словами, время от времени испытуемый должен видеть иллюзорное сочетание частей или качеств, «изъятых» из разных зон наблюдаемой сцены. В определенных условиях такие иллюзии возникают довольно часто. В одном из экспериментов автора и ее коллег испытуемому на короткое время (200 мс, или 1/5 с) предъявляли три цветных знака: например, синий **X**, зеленый **T** и красный **O**. Внимание испытуемых отвлекали, спрашивая сначала о том, какая цифра появляется с той или другой стороны экрана. Затем следовал вопрос о цвете знаков. Примерно треть всех ответов была ошибочной — например, называли такую комбинацию: красный **X**, зеленый **O** и синий **T**.

Испытуемые совершали ошибки соединения гораздо чаще, чем называли цвет или знак, не предъявлявшиеся на экране. Следовательно, их ошибки действительно свидетельствуют о перестановке качеств, а не о простой ошибке восприятия отдельного объекта. Кроме того, большинство ошибок явно носит характер подлинных иллюзий, поскольку испытуемые часто не верили, что ошиблись, и просили показать комбинацию еще раз.

Мы попытались найти ограничения на появление таких иллюзорных сочетаний качеств. Например, мы смотрели, насколько похожими должны быть объекты, чтобы испытуемый мог менять местами их качества. Оказалось, что такого ограничения практически нет: испытуемые с такой же легкостью приписывали цвет маленького красного контурного квадрата большому, сплошь залитому синим кругу, как и меняли цвета у двух маленьких контурных треугольников. Получалось, что красный цвет треугольника представлен абстрактным кодом красного, а не включен в аналоговый код треугольника, несущий информацию о размере и форме объекта.

Нас также интересовало, труднее ли породить иллюзорные сочетания в том случае, если для этого требуется отделить одну часть от простой целостной формы типа треугольника, чем в случае, скажем, переноса отдельной линии. И снова ответ был отрицательным. Наши испытуемые видели иллюзорный знак доллара на изображении, состоящем из знаков **S** и черточек. Но они видели точно такой же знак и на изображении, составленном из знаков **S** и треугольников (см. нижний рисунок на с. 70). На сознательном уровне треугольник воспринимается как связанное целое. Однако на уровне, предшествующем

вниманию, составляющие треугольник отрезки обнаруживаются независимо.

Уточним, правда, что для наблюдателя треугольник может обладать еще одним признаком: составляющие его отрезки ограничивают некую площадь, и это свойство замкнутости тоже может восприниматься на предшествующем вниманию уровне. Если это так, восприятие может требовать обнаружения трех отрезков с определенной ориентацией и свойства замкнутости. В таком случае испытуемые не должны видеть иллюзорных треугольников, если им предъявлять только отдельные отрезки с определенной ориентацией. Для того чтобы собрать «детали» в треугольники, им нужен будет еще один стимул — какая-нибудь замкнутая фигура (например, окружность). Это и было подтверждено в эксперименте.

ДРУГОЙ способ лабораторных исследований переработки зрительной информации на уровне предвнимания — это решение задач на зрительный поиск. Например, испытуемого просят найти объект среди других, «отвлекающих» предметов (дистракторов). При этом исходят из следующего допущения: если на уровне предвнимания переработка информации реализуется автоматически и по всему зрительному полю, объект, выделяющийся среди своих соседей на этом уровне его репрезентации в мозгу, будет «выпячиваться» из наблюдаемой сцены. Иголку в стоге сена из известной поговорки найти трудно именно потому, что некоторые ее качества — длина, толщина, ориентация — совпадают с качествами сена, в котором она спрятана. Найти цветок мака в том же стоге гораздо легче: его красный цвет и форма обнаруживаются автоматически.

Мы нашли, что если объект отличается от окружающих предметов каким-нибудь простым качеством (например, ориентацией, цветом или кривизной), он обнаруживается почти одинаково быстро и в наборе из трех, и в наборе из тридцати предметов. Такие объекты, действительно, «выпячиваются» из сцены, и время, необходимое на их поиск, не зависит от количества дистракторов. Эта «независимость» сохраняется даже в том случае, когда испытуемым не говорят, каким отличительным качеством обладает искомый объект. В этом случае обнаружение его длится несколько дольше, но количество дистракторов и здесь не играет практически никакой роли.

Если же объект характеризуется только совокупностью качеств (на-

пример, красный знак **O** среди красных и зеленых **O**) или определяется только конкретной комбинацией компонентов (например, **R** среди набора **P** и **Q**, которые в совокупности включают все компоненты **R**), время, нужное на обнаружение объекта или принятие решения о его отсутствии на изображении, возрастает пропорционально количеству дистракторов. Получается, что испытуемые в этих условиях вынуждены концентрировать внимание поочередно на каждом предмете, чтобы определить, как соединятся его качества или части. В опыте с положительным исходом (когда заданный объект на изображении присутствует) поиск длится до обнаружения объекта, поэтому он заканчивается после рассматривания в среднем половины всех дистракторов. В опыте с отрицательным исхо-

дом (когда искомого объекта на изображении нет) испытуемому приходится проверять все дистракторы. Поэтому при увеличении количества дистракторов время поиска в опытах с отрицательным исходом возрастает вдвое быстрее, чем в опытах с положительным исходом.

Различия во времени поиска простых качеств и сочетаний качеств могут иметь прикладное значение. Например, контролеры выпускаемой продукции на предприятии могут затрачивать больше времени на обнаружение технического брака, если он представляет собой комбинацию качеств, чем если он выражается изменением одного качества. Точно так же каждый символ, кодирующий пункт назначения багажа на авиалиниях, должен быть представлен уникальной комбинацией качеств.

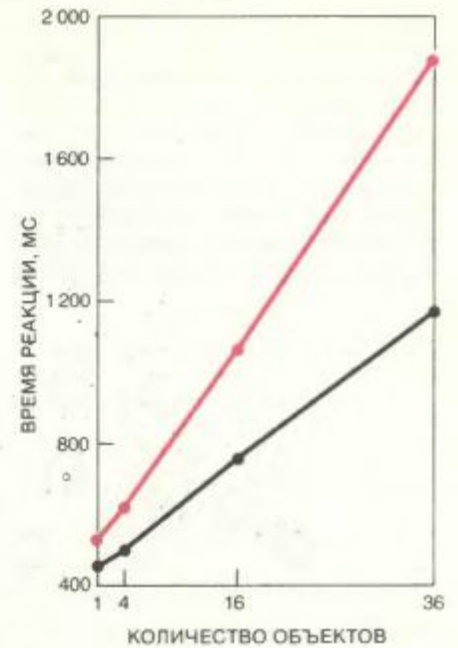
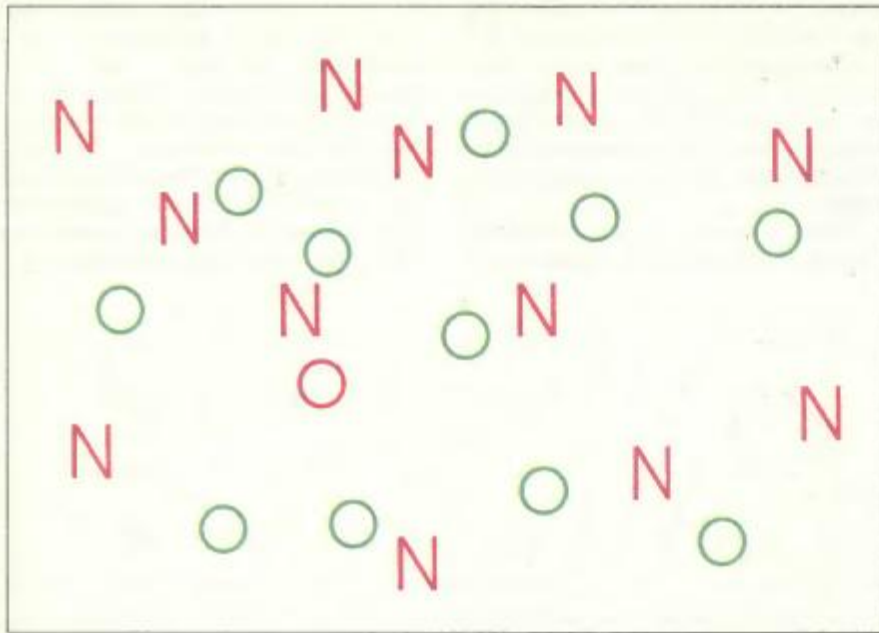
В ПОСЛЕДУЮЩЕЙ серии экспериментов использовалась своего рода обратная задача на зрительный поиск. В качестве искомого испытуемому предлагался объект, отличающийся от дистракторов отсутствием какого-либо признака. Например, мы предъявляли изображения, составленные из знаков **O** и **Q**, так что различие между искомым объектом и дистракторами заключалось в том, что один представлял собой просто кружок, а другой — кружок, пересеченный черточкой (см. рисунок на с. 74). Мы обнаружили весьма примечательное отличие ситуации, когда искомым был знак **Q** (с черточкой), и ситуацией, в которой искомым был знак **O**, не имевший черточки. Когда искомым объектом имел черточку, время поиска не зависело от количества дистракторов. Очевидно, что он «выпячивался» из сцены. Когда же искомым объектом не имел черточки, время поиска увеличивалось пропорционально количеству дистракторов. Ясно, что все объекты в этой ситуации поочередно просматривались испытуемыми.

Этот результат противоречит интуитивному ожиданию: в самом деле, в обоих случаях необходимо было провести различие между одними и теми же стимулами: **O** и **Q**. В то же время результат хорошо согласуется с представлениями о том, что на ранней стадии переработки зрительной информации нейронный сигнал несет информацию именно о наличии отличительного признака, а не об его отсутствии. Другими словами, на начальной стадии переработки зрительная система извлекает лишь простые качества, и каждое из них «приводит» в активное состояние группу специализированных детекторов. Объект с уникальным признаком обнаруживается простой проверкой активности соответствующих детекторов. И напротив, объект, у которого отсутствует качество, присущее всем другим объектам (дистракторам), вызывает только немногим меньшую активность, чем рассматривание изображения, состоящего исключительно из дистракторов. Исходя из этого, мы предположили, что на ранней стадии переработки зрительной информации возникает нечто вроде «карт признаков». Они необязательно должны соответствовать зрительным зонам коры, топографию которых устанавливают физиологи, хотя о таком соответствии можно было бы поразмышлять.

В задачах зрительного поиска мы искали также те признаки, которые, как мы предполагали, должны «бросаться в глаза», — т. е. наиболее про-



ИЛЛЮЗОРНЫЕ ТРЕУГОЛЬНИКИ позволяют выявить признаки, обеспечивающие восприятие треугольника. Испытуемые редко видели треугольники при предъявлении изображений с отрезками, которые могли бы составить треугольники (a). Гораздо чаще они видели треугольники, когда на изображении появлялись замкнутые фигуры — в данном случае, знаки **O** (b). Очевидно, замкнутость — это тоже признак, анализируемый на начальной стадии переработки зрительной информации. Этот вывод подтверждается предъявлением изображений, не содержащих наклонных отрезков, дополняющих фигуру до треугольника (c, d). В таких случаях испытуемые видели треугольники редко.



ПОИСК ОБЪЕКТА, который определяется сочетанием признаков, занимает тем больше времени, чем больше изображено «отвлекающих» предметов (дистракторов). Здесь искомый объект — красный знак **O**, дистракторы — зеленые **O** и красные **N**. Таким образом, объект отличается от дистракторов сочетанием цвета и формы. Когда искомый объект отсутствовал, среднее время, затрачиваемое на поиск, увеличивалось примерно на 40 мс на каждый дополнительный дистрактор. Когда искомый объект на изображе-

нии был (а значит, испытуемые просматривали в среднем около половины всех знаков до обнаружения искомого), время поиска увеличивалось примерно на половину указанной величины. Отсюда следует, что при поиске объекта, определяемого сочетанием признаков, испытуемому приходится поочередно сосредоточивать внимание на каждом объекте. Если же объект имеет уникальный цвет и форму, то количество дистракторов, среди которых находится искомый объект, не влияет на время поиска.

стые элементы «языка» ранней стадии переработки зрительной информации. Искомые нами признаки были разбиты на несколько категорий: количественные свойства, такие, как длина или число; свойства линий — ориентации или кривизны; свойства групп линий; топологические и соотносительные качества — связность линий, наличие у них свободных концов или отношение высоты объекта к его ширине.

Среди количественных признаков нам удалось обнаружить такие, которые начинают «выпячиваться» при возрастании их различимости. В частности, обнаружение объекта становилось все более легким при возрастании «интенсивности» некоторого качества — длины отрезка, толщины линии, наличия двойной линии (при наличии дистракторов в виде одинарных отрезков). Этот результат свидетельствует об активной реакции зрительной системы на «большее» наличие этих качеств, в то время как «меньшее» кодируется отсутствием активности. Например, нейронная активность, сигнализирующая о длине линии, может возрастать с увеличением длины (до некоторого максимума), и более длинный искомый отрезок, таким образом, обнаруживается на фоне низкой нейронной активности, вызываемой короткими отрезка-

ми-дистракторами. Напротив, если искомый отрезок короче дистракторов, соответствующие ему более редкие нервные импульсы с большой вероятностью утонут в более высокой общей активности, вызванной дистракторами. Психологи уже более ста лет знают о резком возрастании способности различения интенсивности сигнала при понижении фоновой интенсивности. Мы полагаем, что этим явлением, известным как закон Вебера, можно объяснить и наши результаты, полученные для количественных признаков.

В ОПЫТАХ по исследованию двух простых признаков линий — ориентации и кривизны — были получены весьма удивившие нас результаты. В обоих случаях мы обнаружили, что резко бросаются в глаза наклонная прямая среди вертикальных и кривая среди прямых, но не наоборот (вертикальная прямая среди наклонных и прямая на фоне кривых). Такие результаты позволяют предположить, что на начальной стадии переработки зрительной информации происходит кодирование наклона и кривизны, а кодирование вертикальности и «прямизны» не происходит. Другими словами, получается, что вертикальные и прямые объекты не обладают признаками, характерными для дистракто-

ров, т. е. представляют собой как бы нулевые величины соответствующей размерности. Если такая интерпретация верна, то из нее следует, что на начальной стадии переработки зрительной информации наклон и кривизна представлены относительно, как отклонения от некоторого стандарта или нормы, не вызывающей нервного импульса.

Аналогичное заключение было сделано и относительно качества замкнутости. Испытуемым предлагали найти замкнутые кружки среди незамкнутых и незамкнутые среди замкнутых. И на этот раз мы выявили поразительную асимметрию, которая привела к выводу, что на предшествующем вниманию уровне разрыв обнаруживается, а замкнутость — нет. Если быть более точным, она обнаруживается на этом уровне лишь тогда, когда достигает значительной величины (кружки приближаются к полуокружностям). Другими словами, замкнутость обнаруживается и на начальном этапе переработки информации, но только когда это качество выражено у дистракторов в значительной степени. С другой стороны, разрывы (или концы линий, образованные разрывами) обнаруживаются одинаково легко вне зависимости от размера — конечно, исключая тот случай, когда просвет настолько мал, что испытуемый

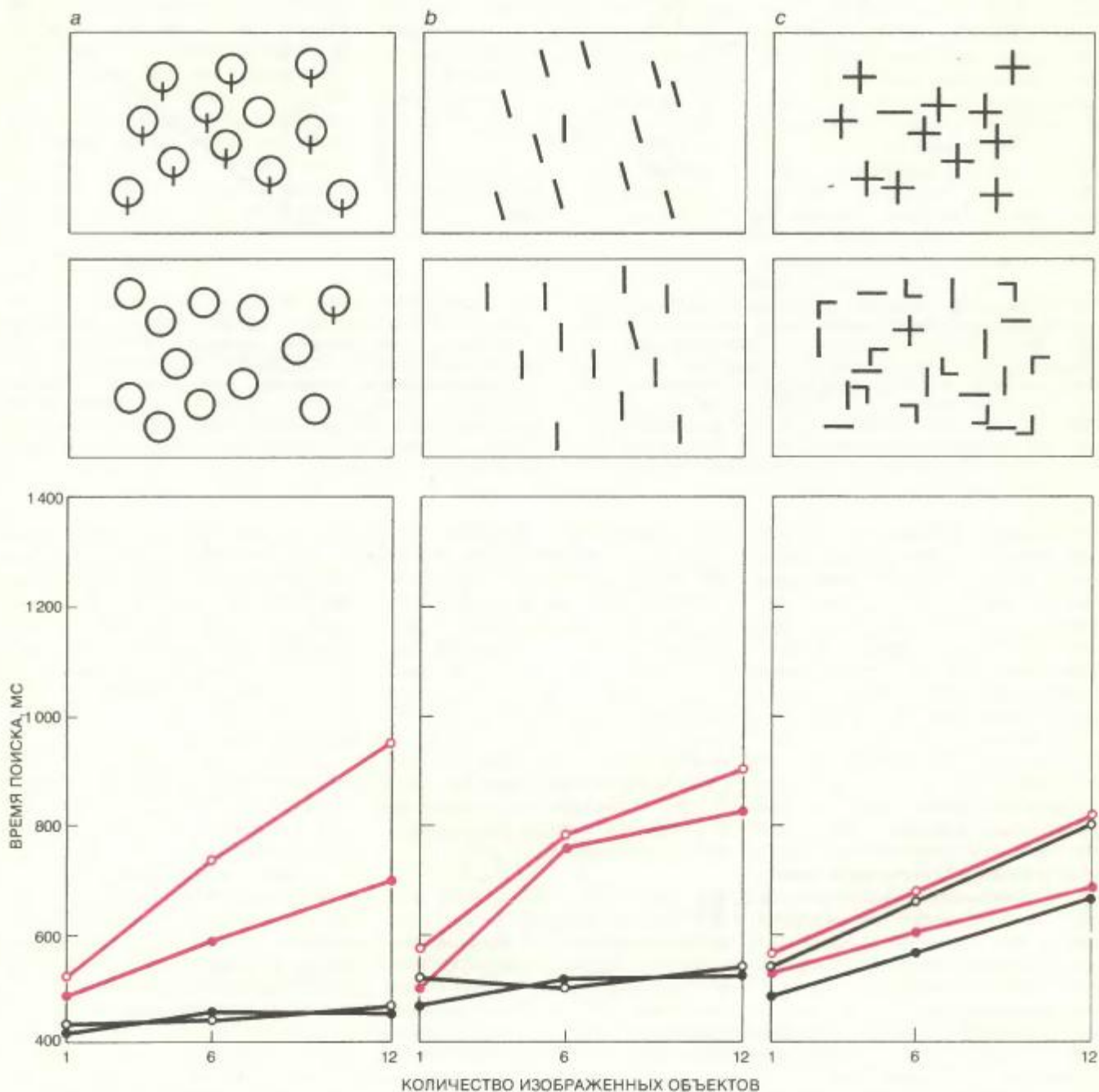
не может различить его на периферии поля зрения.

Что касается сочетания линий, то мы не нашли ни одного, которое обнаруживалось бы на предшествующем вниманию уровне переработки информации. Мы пробовали предъявлять пересечения и соединения линий, параллельные и сходящиеся прямые, но в каждом случае время поиска

возрастало с увеличением количества дистракторов. Искомые объекты легко обнаруживались лишь тогда, когда внимание испытуемого направлялось на них специально. Этого не происходило, когда его внимание было распределено по всей наблюдаемой сцене.

Итак, похоже, что на начальной стадии переработки зрительной ин-

формации извлекается только очень небольшое число признаков. Сюда входят цвет, размер, контрастность, наклон, кривизна и наличие концов линий. Данные других исследователей позволяют добавить в этот список движение и различия по глубине при стереоскопическом видении. Строительными блоками зрения являются простые качества, характери-



НАЛИЧИЕ ИЛИ ОТСУТСТВИЕ признака могут оказывать существенно различное влияние на время поиска объекта среди дистракторов. В одном из экспериментов (а) объектом был либо кружок, пересеченный вертикальной черточкой, либо кружок без этого признака. Время поиска перечеркнутого кружка (черная кривая) почти не зависело от общего количества объектов на изображении, т. е. данный признак «бросался в глаза». Время поиска неперечеркнутого кружка (красная кривая) резко возрастало при увеличе-

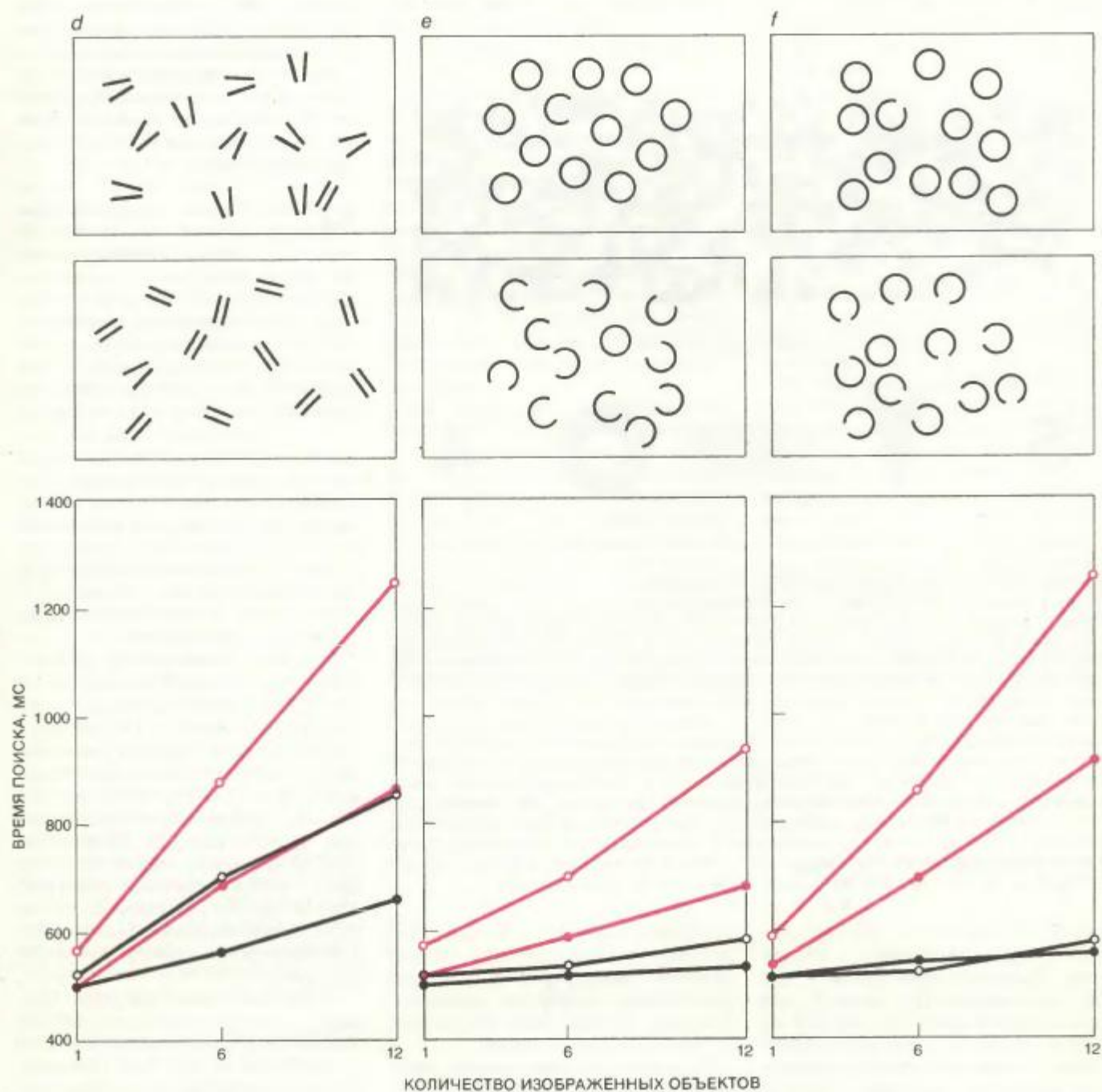
нии количества дистракторов. Следовательно, испытуемые поочередно просматривали все изображенные объекты. Во втором эксперименте (b) испытуемые должны были обнаружить вертикальную (красная кривая) или наклонную линии (черная кривая). Наклонную линию испытуемые обнаруживали гораздо быстрее: очевидно, только она «выпирала» из изображения. В третьем эксперименте (c) использовали простые отрезки (красная кривая) и отрезки, пересекающиеся в виде знака «плюс» (черная кривая). Оче-

зующие отдельные элементы — такие, как точки и линии, — а не отношения между ними. Замкнутость является, пожалуй, самым сложным качеством, обнаруживаемым на этом уровне. Наконец, согласно полученным нами результатам, некоторые качества на этой стадии переработки кодируются как отклонения от нулевой (эталонной) величины.

ДО ЭТОГО момента мы рассматривали стадию переработки зрительной информации, уровень, предшествующий вниманию. Обратимся теперь к более поздним стадиям. В частности, рассмотрим факты, свидетельствующие о необходимости концентрации внимания для соединения признаков в некотором данном месте сцены и для формирования структу-

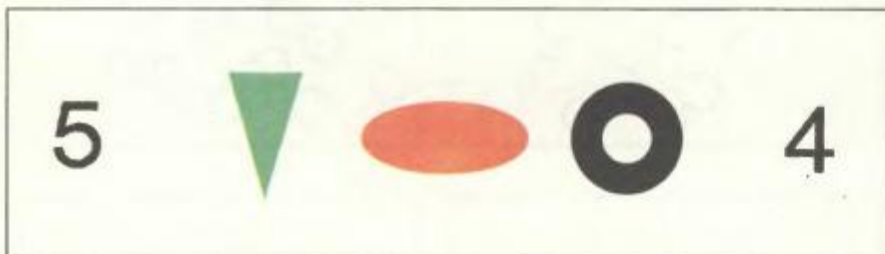
рированного образа — репрезентации объектов и их отношений.

О том, что для объединения признаков необходима концентрация внимания, свидетельствуют несколько групп факторов. Первая из них получена в экспериментах, где испытуемому нужно было идентифицировать объект и сказать, в каком месте он его видит. В одном типе изображений



видно, ни то ни другое не «бросалось в глаза». В четвертом эксперименте (d) стимулами служили параллельные (цветная кривая) и сходящиеся отрезки (черная кривая). И здесь ни один из стимулов не «выпячивался» из изображения. В пятом эксперименте (e) исследовался признак замкнутости на примере замкнутых кружков (цветная кривая) и кружков с разрывами в четверть окружности (черная кривая). В шестом эксперименте (f) также изучался признак замкнутости с помощью замкнутых кружков (цветная кри-

вая) и кружков с небольшими разрывами (черная кривая). Оказалось, что величина разрыва практически не имеет значения: незамкнутый кружок «бросается в глаза» независимо от степени его «незамкнутости». С другой стороны, время поиска испытуемыми замкнутого кружка среди незамкнутых увеличивалось с уменьшением величины разрыва в кружках-дистракторах. На всех графиках кривые с незакрашенными кружочками относятся к опытам, в которых изображения составлены только из дистракторов.



ВОЗДЕЙСТВИЕ ОЖИДАНИЙ на восприятие сочетаний признаков оказывается весьма сложным. Испытуемым предъявляли три цветных объекта с дистракторами — в данном случае, цифрами (верхний рисунок). Это изображение сменялось маскирующим полем и отрезком-указателем (средний рисунок), показывающим место того объекта на первом изображении, который должен назвать испытуемый. Испытуемые делали много ошибок в соединении цветов с формами, когда ожидали появления случайных сочетаний цветов и форм (оранжевого треугольника, синего эллипса и черного кольца). Не удивительно, что число ошибок уменьшалось, когда их предупреждали о появлении знакомых (стилизованых) предметов (морковки, озера, автопокрышки). На некоторых изображениях знакомые предметы появлялись в неожиданных цветах (нижний рисунок). Однако испытуемые не чаще называли морковку оранжевой при наличии другого оранжевого объекта на изображении, чем в отсутствие оранжевого цвета вообще. Результат этого последнего опыта показывает, что иллюзорные сочетания формируются на той стадии переработки зрительной информации, на которую не влияют предварительные знания об окружающем мире.

объект отличался от дистракторов одним простым признаком. Например, объектом служил красный знак **H** среди красных **O** и синих **X**, или оранжевый **X** среди красных **O** и синих **X**. В другом типе изображений объект отличался способом сочетания признаков: например, синий **O** или красный **X** среди красных **O** и синих **X**. Нас особенно интересовали случаи, когда испытуемый правильно идентифицировал объект, но неправильно определял его местонахождение. Как мы и ожидали, при успешной идентификации простого объекта (например, отличающегося только цветом) испытуемые время от времени

ошибались в определении его местонахождения. Отсюда следует весьма разумное предположение, что для правильного соединения признаков внимание должно быть направлено на место их сосредоточения.

В реальных условиях, конечно, многие из возможных сочетаний отбрасываются на основе предварительного знания. В жизни редко можно встретить синий банан или мохнатую яичницу. Переработка зрительной информации на уровне предвнимания в известном смысле происходит «снизу вверх», поскольку носит автоматический характер и упомянутые знания в ней не учитываются. Другими слова-

ми, она осуществляется без ограничений «сверху». Можно предположить, что иллюзорных соединений признаков в повседневной жизни не происходит именно потому, что это противоречит ожиданиям «сверху». Тот факт, что наши знания о мире действительно ускоряют восприятие, делают его более точным, был проиллюстрирован много раз. Например, И. Бидерман из Университета шт. Нью-Йорк в Буффало предлагал испытуемым найти объект (велосипед) на фотографии естественной сценки и на коллаже, составленном из кусочков той же фотографии (см. рисунок на с. 69). Испытуемые работали успешнее, когда велосипед нужно было искать в естественном окружении.

ЧТОБЫ изучить, какую роль играют предварительные знания в соединении качеств объекта, мы с Д. Батлер предприняли исследование иллюзорных соединений. Мы предъявляли испытуемым набор из трех цветных изображений с цифрами на полях (см. рисунок слева). Спустя приблизительно 200 мс появлялся отрезок-указатель вместе с изображением случайного сочетания черных и белых клеток для устранения последствия первого изображения. Испытуемых просили обратить внимание на цифры и назвать их, а затем сказать, на какой объект указывал отрезок. Изображения чередовались с такой быстротой, которая исключала возможность концентрации внимания на всех трех объектах.

Ключевой особенностью эксперимента были названия-ярлыки, которые мы дали объектам. Одной группе испытуемых говорили, что изображение состоит из «оранжевой морковки, синего озера и черной автопокрышки». В одном случае из четырех объекты предъявлялись в других цветах, чтобы исключить для испытуемых возможность просто называть цвет, соответствующий фигурке. Другой группе испытуемых то же изображение описывали как «оранжевый треугольник, синий эллипс и черное кольцо».

Результаты оказались очень важными. В группе испытуемых, для которых изображение было случайным соединением цвета и геометрической фигуры, количество иллюзорных соединений оказалось весьма большим: в 29% ответов упоминались иллюзорные соединения, представлявшие собой перестановки цветов и форм, реально присутствовавших на изображении, а в 13% ответов присутствовали цвета и формы, не предъявлявшиеся испытуемым. В группе, ожидавшей появления хорошо знакомых объ-

ектов, испытуемые видели довольно мало иллюзорных сочетаний: случаев неправильной комбинации цвета с формой было всего на 5% больше, чем названий цветов и фигур, отсутствовавших на изображении.

Третьей группе испытуемых мы время от времени предъявляли изображения с неправильной комбинацией свойств, когда они ожидали появления большинства объектов в естественных цветах. К нашему удивлению, испытуемые не показали тенденций к созданию иллюзорных сочетаний признаков, которые бы соответствовали их ожиданиям. Например, они не были склонны чаще видеть треугольник («морковку») оранжевым в присутствии другого оранжевого объекта, чем тогда, когда оранжевый цвет вообще отсутствовал. Из этого следуют два вывода: предварительные знания действительно помогают эффективно использовать внимание для соединения признаков, однако эти знания и ожидания не способствуют иллюзорной перестановке признаков, хотя бы она и была нужна для приведения объекта к «нормальному» виду. Следовательно, иллюзорные соединения признаков, вероятнее всего, происходят на уровне предвнимания «снизу вверх», без влияния ограничений «сверху».

КАК ЖЕ происходит восприятие объектов, когда внимание уже сфокусировано на них и из всех присутствующих в видимой сцене признаков взят «правильный» их набор? В частности, как порождается и сохраняется перцептивное единство объекта, если учесть к тому же, что объекты движутся и изменяются? Представьте себе птицу на ветке. Вы видите ее под определенным углом зрения, при определенном освещении. Теперь представьте, что она начинает чистить перышки, затем взмахивает крыльями и улетает; при этом ее форма, размеры и цвет изменяются. Однако, несмотря на изменение практически всех качеств, птица сохраняет перцептивную целостность: она остается одним и тем же целостным объектом.

Д. Канеман из Калифорнийского университета в Беркли и автор предположили, что восприятие объекта опосредуется не только его узнаванием, или сравнением с хранимым в памяти эталоном или описанием, но и построением некоторой временной репрезентации, которая соответствует виду объекта в данный момент и постоянно подновляется по мере его изменения. Это похоже на файл, в который вводится перцептивная информация о некотором объекте — анало-

гично полицейскому досье, в котором собирается информация о преступлении. Тогда перцептивная непрерывность объекта должна зависеть от того, помещается ли текущая информация в тот же файл, что и предыдущая. А это возможно, если объект остается неподвижным или изменяет свое положение в пределах, позволяющих перцептивной системе следить, в какой файл необходимо занести соответствующие ему данные.

Для проверки этой идеи мы совместно с Б. Гиббсом предложили задачу на название букв (см. рисунок внизу). На короткое время в двух рамках появлялись две буквы. Затем рамки без букв смещались на новое место и в одной из них снова появлялась буква. Все это проделывалось таким образом, чтобы пространственные и временные интервалы между исходными буквами и последующей были одинаковыми, а единственным различием было бы перемещение рамок. Испытуемый должен был возможно скорее назвать последнюю появившуюся букву.

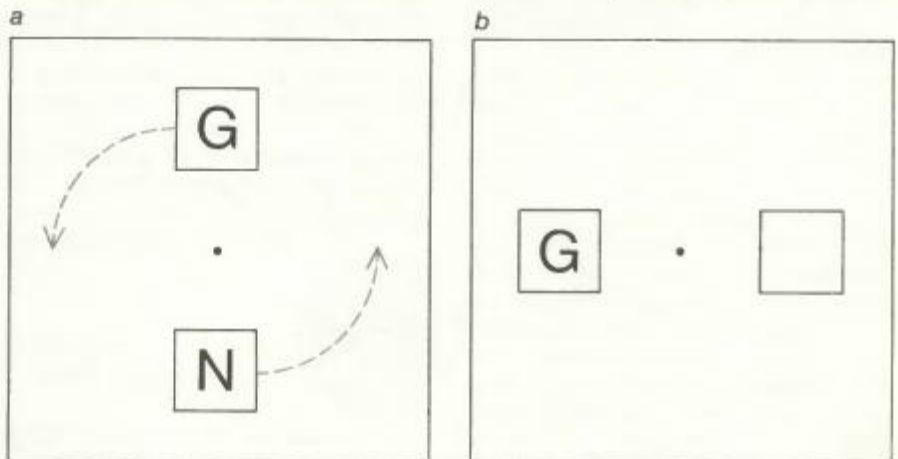
Мы знали, что предварительное предъявление буквы обычно сокращает время идентификации той же буквы — это известный эффект «прайминга». Нас же интересовало следующее: не будет ли этот эффект проявляться лишь в отдельных ситуациях? Мы предполагали, что если последняя буква будет той же, что и предъявлявшаяся ранее, и появится в той же рамке, то обе будут расценены испытуемым как один и тот же объект. Другими словами, вся перцептивная

задача должна сводиться в этом случае к обнаружению того же объекта в другом месте. Если же в рамке появится другая буква, то необходимо будет «обновить файл», что скорее всего увеличит время на опознание и называние объекта.

Как оказалось, наше предположение было верным. Испытуемые реагировали в среднем за 30 мс раньше, если появлялась та же буква и в той же рамке, в которой ее видели раньше. Если та же буква появлялась в другой рамке, то эффект не наблюдался. Этот результат подтверждает гипотезу, согласно которой на более поздних стадиях зрительного восприятия информация предыдущих стадий, имеющих дело с признаками, объединяется во временные конкретно-предметные репрезентации.

ПРЕДЛАГАЕМАЯ мною общая схема переработки зрительной информации может быть представлена в виде модели (см. рисунок на с. 78). Зрительная система начинает с того, что кодирует некоторые простые и полезные качества, складывая их в своего рода пачку карт. В мозгу такие карты обычно сохраняют порядок пространственных отношений видимого мира. Тем не менее эта пространственная информация может быть непосредственно недоступной на последующих стадиях переработки зрительной информации, т. е. сигнал о наличии признака может не нести информации о его местонахождении.

На последующих ступенях «вклю-



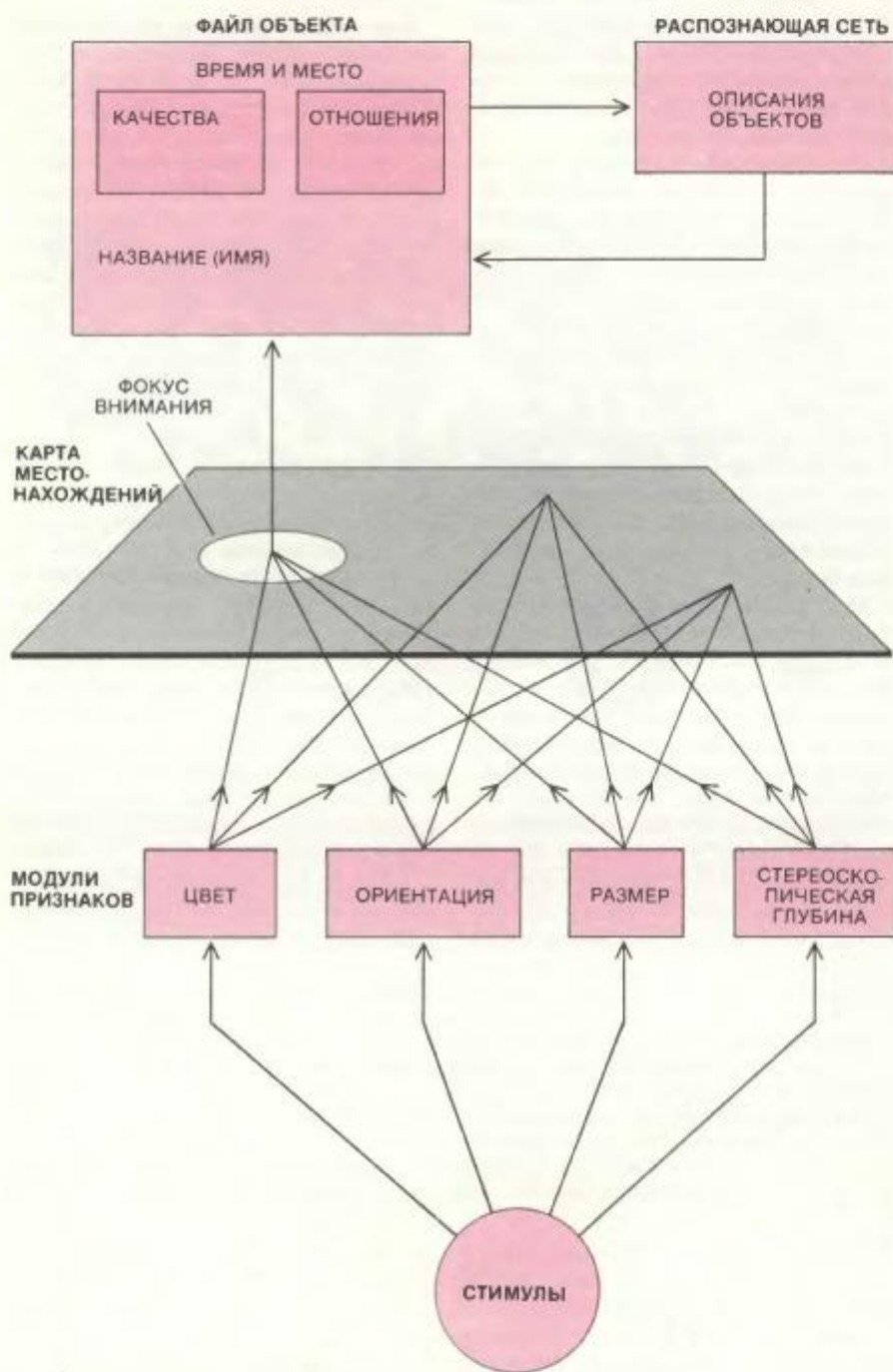
ОБЪЕДИНЕНИЕ СЕНСОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ в своего рода файл на данный зрительный объект изучалось с помощью перемещения рамок. В каждой серии опытов появлялись две рамки, в которых на короткое время предъявлялись буквы (а). Затем рамки перемещались на новое место и в одной из них вновь появлялась буква (b). Испытуемый должен был по возможности быстрее назвать эту букву. Если она совпадала с первой буквой и была в той же рамке, то называние происходило быстрее, чем если она появлялась в другой рамке или отличалась от первой. Из этого следует, что на обновление старого или создание нового файла на объект требуется больше времени, чем на простое повторное восприятие того же объекта.

чается» внимание. Здесь можно предложить аналогию с работой со штурманской картой, на которой видны разрывы интенсивности или цвета, но не уточняется, что они из себя пред-

ставляют. Внимание использует такую карту, одновременно отбирая все признаки, присутствующие в данном месте, на основе связей между отдельными картами признаков. Потом все

это складывается во временную репрезентацию объекта, или файл.

Наконец, согласно этой модели, объединенная информация о качествах и структурных отношениях в каждом файле сравнивается с описаниями, хранящимися в «распознающей сети». В этой сети специфицированы ключевые признаки кошек, деревьев, яичницы с ветчиной, наших бабушек и прочих перцептивно знакомых объектов, что открывает доступ к их наименованиям, типичному поведению и текущей значимости. Я полагаю, что осознание чего-либо зависит от файла на данный объект и информации, которая в этом файле содержится. Другими словами, оно зависит от репрезентаций, в которые собрана информация об объекте — как из анализа сенсорных данных, так и из «распознающей сети» — и в которых она постоянно обновляется. Если при этом случаются значительные разрывы в пространстве или во времени, то файл на объект аннулируется: он перестает быть источником перцептивного опыта. Сам же объект в этом случае исчезает и заменяется новым, со своим собственным временным файлом, готовым начать новую перцептивную историю.



ГИПОТЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ начальной стадии зрительного восприятия построена на основе экспериментов, проведенных автором. Согласно модели, на начальной стадии некоторые простые и полезные признаки видимой сцены кодируются в карты признаков, могущие сохранять пространственные отношения видимого мира, но не поставляющие пространственную информацию последующим стадиям переработки. Отбор и объединение признаков, характерных для конкретного места наблюдаемой сцены, производятся вниманием с помощью своего рода «штурманской карты местности». На последующих стадиях объединенная информация служит для создания и обновления файлов на зрительные объекты. В свою очередь содержимое файлов сравнивается с описаниями, хранящимися в «распознающих сетях». Эти сети содержат информацию о внешнем виде, поведении, именах и значимости знакомых нам объектов.

Издательство
МИР
предлагает:

К. Хеллан
**ВВЕДЕНИЕ В МЕХАНИКУ
РАЗРУШЕНИЯ**

Перевод с английского
Монография норвежского ученого, в которой изложены основные положения, методы и критерии линейной и нелинейной механики разрушения с уклоном в область практического применения. Книгу отличает сочетание простоты и доступности изложения с достаточной строгостью. Приведено большое количество задач с подробным решением и комментариями.

Для научных, инженерно-технических работников, а также студентов и аспирантов.

1988, 21 л. Цена 3 р. 10 к.



Креационизм под защитой закона

ОКОЛО пяти лет назад федеральный судья в шт. Арканзас счел антиконституционным закон штата о равноправии в отношении преподавания на уроках биологии в государственных школах учения о сотворении мира (креационизма) и теории эволюции. Недавно этот вопрос вновь стал предметом судебного разбирательства: на этот раз поводом послужил принятый в 1981 г. аналогичный закон в шт. Луизиана. В ближайшие месяцы Верховный суд США рассмотрит это дело — впервые после того, как указанный закон шт. Луизиана вступил в силу. Власти штата дважды пытались обжаловать судебные решения, одно из которых было вынесено окружным отделением федерального суда, а другое — апелляционным судом США. Несколько недель назад Национальная академия наук, академии наук 17 штатов и 72 американских лауреата Нобелевской премии призвали Верховный суд принять постановление о том, что закон шт. Луизиана и другие подобные законы, предусматривающие преподавание в государственных школах религиозного учения, являются нарушением первой поправки к конституции.

Закон шт. Луизиана, о котором идет речь, называется «Закон о равном отношении к креационизму и эволюционной теории». Как следует из текста закона, он был принят «с целью защиты академической свободы». Креационизм определяется в законе как «совокупность различных данных, свидетельствующих в пользу акта творения мира, и выводов из этих научных свидетельств». В нем говорится также, что в государственных школах шт. Луизиана обе теории должны преподноситься как равнозначные «во всех случаях, когда речь идет о происхождении человека и возникновении жизни, Земли или Вселенной». Закон требует, «чтобы и креационистское, и эволюционное учения преподносились как теории, а не как научно доказанные истины». Это, как отмечается в заявлениях академий наук и отдельных ученых, есть скрытая проповедь религиозных идей. «В книгах, лекциях, брошюрах и других материалах, — говорится в заявлении Национальной академии наук, — сторонники креационизма... утверждают, что «научные» данные и выводы говорят в пользу того, что Вселенная, наш мир, все живое и человек были сотворены из ничего, мгновенно, в

своей завершенной форме по образцу или по образцам «особого творения». Академия считает, что, за исключением тех случаев, когда сторонники креационизма настаивают перед властями на праве преподавания «науки о творении» в государственных школах, они «явно признают, что эта «наука» зиждется на абсолютной вере в историческую непогрешимость картины творения, изложенной в Книге Бытия».

В заявлениях лауреатов Нобелевской премии, академий наук отдельных штатов и семи других научных организаций подчеркивается, что в законе шт. Луизиана сделана попытка провести границу между теорией и фактами. Между тем в науке, поясняют ученые, доказательством существования того или иного явления служат только факты. Путем постоянной проверки гипотез ученые «соглашаются отдать предпочтение тем гипотезам, которые подтверждаются данными наблюдений или результатами экспериментов». Именно такие гипотезы становятся общепризнанными теориями. Выдвигая требование «преподносить как теорию» только в отношении вопросов, связанных с происхождением мира, «сторонники закона шт. Луизиана пытаются провести научно несостоятельное, уничижительное размежевание эволюционной теории и других научных достижений». Преподавать религиозные идеи, выдавая их за научные, указывается в заявлении, «означает нанести ущерб научному образованию. Это создает в сознании людей ложный конфликт между наукой и религией, воспитывает у молодежи неверное представление о природе научных знаний и как следствие ограничивает наши возможности решать проблемы, которые ставит индустриальное общество».

Квазар нового типа

КВАЗИЗВЕЗДНЫЕ объекты, или квазары, представляют собой чрезвычайно мощные источники электромагнитного излучения, удаленные от Земли на миллиарды световых лет. Несмотря на то что размеры области, в которой выделяется излучаемая квазарами энергия, меньше размеров Солнечной системы, они излучают энергии больше, чем целые галактики, состоящие из миллиардов звезд. Примерно 3500 известных в настоящее

время квазаров большую часть энергии излучают в ультрафиолетовом, видимом и радиодиапазонах спектра. Квазары, излучающие большую часть энергии в инфракрасной области, не были известны.

Недавно такой квазар был обнаружен. В своей статье в журнале «Astrophysical Journal Letters» Ч. Байхман, Т. Соифер, Дж. Хелоу, Т. Честер и Г. Нойгебауэр из Калифорнийского технологического института, а также Ф. Джиллет из Национальной оптической обсерватории и Ф. Лоу из Университета шт. Аризона сообщают об открытии инфракрасного квазара, получившего обозначение 13349+2438. Как источник инфракрасного излучения этот объект впервые был идентифицирован по данным, переданным с борта спутника IRAS (Infrared Astronomical Satellite); в ходе последующих наблюдений с помощью наземных оптических и радиотелескопов ученые пришли к выводу о том, что он является квазаром.

Инфракрасный квазар вполне «укладывается» в рамки общепринятой в настоящее время теории эволюции квазаров, согласно которой они возникают при столкновении двух галактик. Инфракрасное излучение, подобное наблюдаемому у объекта 13349+2438, может быть обусловлено разогревом обширных облаков межзвездной пыли, образовавшихся при столкновении. Вероятно, до тех пор пока эти облака не рассеются, они поглощают излучение квазаров в других диапазонах спектра: после их рассеяния это излучение может распространяться и появляется возможность зарегистрировать его на Земле.

По сравнению с другими квазарами объект 13349+2438 расположен сравнительно недалеко от Земли, на расстоянии примерно 1 млрд. св. лет. По-видимому, еще ближе к нам могут существовать квазары, находящиеся в настоящее время в стадии образования. Многие астрономы считают, что квазары образовались на ранних этапах эволюции Вселенной; они исходят из того факта, что все квазары — чрезвычайно удаленные объекты. Теперь, когда обнаружен сравнительно близкий инфракрасный квазар, эта гипотеза, возможно, нуждается в пересмотре.

Галилей и призрак Джордано Бруно

Часто их обоих называют «мучениками» в науке, хотя для Джордано Бруно астрономия была лишь средством выражения своих философских и теологических идей. Галилея же судили отчасти потому, что ему ошибочно приписывали цели Джордано Бруно

ЛОУРЕНС С. ЛЕРНЕР, ЭДВАРД А. ГОССЕЛИН

В 1633 г. Галилео Галилей предстал перед римской инквизицией по обвинению в том, что утверждал, что Земля вертится. Последовавший за этим обвинением суд вовлек всю могущественную римскую католическую церковь в научный и теологический спор с самым крупным ученым того времени. В результате, как известно, Галилея вынудили публично отречься от учения Коперника о Вселенной, которая в 1616 г. была осуждена как «ложная и противоречащая Священному писанию». Сегодня это событие повсеместно считается критическим в становлении современной науки.

Во время суда над Галилеем еще была жива память о том, как в 1600 г. Джордано Бруно также оказался в руках инквизиции. Так же как и Галилей, Бруно был широко известен как последователь Коперника, однако постигшая его кара была гораздо более суровой: он был сожжен на костре. Впоследствии деятельность этих двух людей и их печальная участь послужили поводом для возникновения двух различных легенд, связывавших их между собой, но, что любопытно, совершенно по-разному. Согласно одной из легенд, оба бросили вызов невежественной и обскурантистской католической церкви в духе современных идеалов свободы совести и оба стали мучениками в борьбе за истину. Здесь Джордано Бруно предстает как «предшественник Галилея» или «несостоявшийся Галилей». «Предшественник Галилея» потому, что он тоже придерживался взглядов Коперника и предстал перед судом инквизиции. «Несостоявшийся Галилей» потому, что, не обладая гениальной проницательностью последнего, он в конце концов обратился к мистицизму. В этой легенде, как и во многих других, есть доля истины, но историческая действительность намного сложнее и разнообразней любой легенды.

Вторая легенда утверждает почти прямо противоположное: что Галилей был кем-то вроде воскресшего Джордано Бруно, что его, как и Бруно, считали религиозным и политическим революционером. Эту легенду нельзя просто отбросить как несостоятельную. Дело в том, что наши исследования доказывают, что осознание той роли, которую сыграла эта легенда в общественной мысли начала XVII в., необходимо для более полного понимания исторического климата, предшествовавшего суду над Галилеем. Мы постараемся показать, что многие беды Галилея частично происходили из-за того, что современники, не понимая его новаторских идей, отождествляли их с более традиционными и, стало быть, более понятными взглядами Джордано Бруно.

ПЕРВАЯ ЛЕГЕНДА, изображавшая Бруно несостоявшимся Галилеем, пользовалась наибольшей популярностью в XIX в.: она была созвучна мировоззрению либерала того времени. В частности, эта легенда будто бы подтверждает, что Галилей, отрекаясь от взглядов Коперника, тем не менее тихо промолвил: «*Errig si muove*» («А все-таки она вертится»). Никаких доказательств этого не существует, да и сам Галилей плохо представляется в такой героической роли. Совсем неоправданно

изображать его как какого-то Натана Хейла или Вильгельма Телля.

Был ли Джордано Бруно мучеником в науке, как утверждает первая легенда? Для простоты сосредоточим наше внимание в основном на его первой и наиболее важной работе, посвященной системе взглядов Коперника, а именно: «*La Cena de le cenegì*» («Вечеря в первый день Великого поста», или сокращенно «Вечеря»). Она была написана на итальянском языке в 1584 г. В то время Джордано Бруно состоял при французском поселе в Лондоне.

Если относиться к этой работе Джордано Бруно как к изложению основ системы Коперника наряду с некоторыми другими научными проблемами, то можно только удивиться ее известности. Она предстает как набор бессмыслиц — беспорядочное нагромождение нелепых ошибок, среди которого попадаются совершенно непонятные куски текста. В «Вечере» Джордано Бруно неправильно истолковывает учение Коперника о Солнечной системе. Он демонстрирует полное невежество в элементарной геометрии, не говоря уже о геометрической оптике. Он пускается в крайне путаные псевдонаучные рассуждения, заключая их высокопарными сентенциями, которые выглядят совершенно не связанными с предшествующими или последующими аргументами.

ПОРТРЕТ ГАЛИЛЕЯ кисти художника XVII в. Оттавио Леони. Галилей изображен в возрасте примерно 60 лет. Для него и для его последователей это было время больших надежд: примерно за год до этого, в 1623 г., кардинал Маффео Барберини, его земляк из Флоренции, ученый и ценитель искусств, был избран папой Урбаном VIII. Один из гобеленов, хранящихся в Ватикане, изображает момент защиты Барберини докторской диссертации по общепризнанной в то время птолемеевой астрономии; в то же время он с большим интересом следил за работами Галилея, посвященными изучению гелиоцентрической модели Коперника. Галилей и Урбан много беседовали в мае и июне 1624 г. Спустя 9 лет их дружба сменилась враждой, и папа вынудил Галилея отречься от его научных убеждений. Суд над Галилеем был для Урбана политическим маневром частично потому, что в глазах общественного мнения Галилей ассоциировался с Джордано Бруно, который был обвинен в ереси и сожжен на костре в 1600 г.



Даже приводимые им диаграммы не всегда соответствуют тексту, который они призваны иллюстрировать.

Но в этой работе заключен и иной смысл, который наверняка был ясен

современникам Джордано Бруно. Будь он просто невежественным глупцом, он сделался бы предметом насмешек и издевательств, но никак не безудержной ненависти и беспо-

шадного преследования со стороны церкви. Конечно, в этом случае инквизиция не стала бы тратить столько сил, чтобы наказать Бруно и заставить его замолчать: восемь лет его держали в тюрьме, подвергали бесчисленным допросам, наконец, предали казни.

Многое в «Вечере» свидетельствует о том, что на самом деле она вовсе не о системе Коперника: более того, ее лишь условно можно считать естественно-научным трудом и решительно нельзя воспринимать буквально. Как следует из названия, главной темой произведения является свхаристия, т. е. христианское таинство причащения. Джордано Бруно восхваляет Коперника как своего рода предвестника новой эры; он с негодованием обрушивается на анонимного автора предисловия к труду Коперника «*De revolutionibus orbium coelestium*» («Обращения небесных сфер»), прекрасно понимая, что это подделка: с неожиданной осторожностью в нем предлагается трактовать астрономию Коперника лишь как теорию для вычислений, а не как картину реального физического мира. (Ныне ученым известно, что предисловие было написано Андреасом Озиандером, лютеранским богословом, одним из учеников Коперника.)

Для Джордано Бруно ценность учения Коперника заключается вовсе не в астрономических представлениях, а в том, что оно могло послужить поэтическим и метафорическим источником для куда более широких философских обобщений. То, что Коперник заменил Землю Солнцем в качестве центра Вселенной, стало для Бруно символом возрождения того, что он называл «древней истинной философией»; именно к этой философии, по его мнению, и следует обратиться для понимания истинного значения святого причастия.

«ДРЕВНЯЯ ИСТИННАЯ философия» Бруно практически представляет собой разновидность герметизма, философских и религиозно-мистических воззрений, изложенных в неоплатонических трактатах во II и III вв. Во времена Джордано Бруно авторство этих трактатов приписывалось Гермесу Трисмечисту (Гермесу Трижды Величайшему), считавшемуся современным Моисею. Развитие герметизма прослеживалось из глубины веков от Орфея, Зороастра, Пифагора, Платона к более поздним греческим философам, а также независимо от них через иудейско-христианское учение. На этом длительном пути «древняя истинная философия» подверглась раз-



ПОРТРЕТ ДЖОРДАНО БРУНО — гравюра неизвестного автора начала XVII в., выполненная примерно через два десятилетия после того, как Джордано Бруно был казнен римской инквизицией. Это наиболее раннее из всех известных изображений Бруно; ни одного из прижизненных его портретов не сохранилось, поэтому за сходство поручиться трудно. Джордано Бруно изображен здесь в одежде Доминиканского ордена, принадлежность к которому он неоднократно признавал в той или иной степени в различные периоды своей жизни. Доминиканское имя Бруно на гравюре приводится в его латинской форме. (Его светское имя — Филиппо.) Слово Nolanus (ноланец) обозначает место его рождения — Нола, пригород Неаполя.

личного рода искажениям и извращениям, чем, по мнению Бруно, и объяснялись все беды и несовершенства современного ему мира.

Согласно герметизму Джордано Бруно, человек несет в себе частицу бога и, следовательно, по крайней мере потенциально, постоянно находится с ним в общении. Принцип всеобщей божественности распространяется на все сущее во Вселенной, включая человека. Таким образом, звезды и планеты (Бруно не проводит между ними различия) суть живые существа, наделенные душой; с помощью магии их можно использовать для достижения социальных и политических изменений на земле. Заново возрожденная и переименованная Джордано Бруно «древняя истинная философия» должна была высвободить божественную сущность всех людей, которая станет могущественной силой, способной залечить религиозные и политические раны общества и утвердить на земле новый «золотой век».

Важно отметить, что попытка Джордано Бруно использовать естественные науки для достижения куда более широких теологических, этических, социальных и политических целей была весьма характерна для мировоззрения эпохи Возрождения. Для людей этой эпохи наука фактически была частью философии, часто использовавшейся для освещения или иллюстрации какого-либо вопроса, не имевшего отношения непосредственно к науке. Образованные люди того времени часто усматривали совершенно определенные и в высшей степени антропоцентрические связи между научным знанием и другими областями жизни. Джордано Бруно прибегает к весьма типичному для его современников — приверженцев герметизма — переносу учений о строении макрокосмоса на отношения между людьми и богом и наоборот.

В понимании Бруно одним из неизбежных последствий возврата к «истинной философии» должно было стать признание изначального единства между либеральными протестантами в Англии и либеральными католиками во Франции. Этой идеей пронизана вся «Вечеря»: например, в системе Птолемея существует фундаментальное различие между неподвижной Землей и вращающимися по концентрическим орбитам вокруг нее звездами и планетами. В то же время, если исходить из взглядов Коперника, Земля и звезды имеют одинаковый «статус», ибо все они вращаются. В сущности, Джордано Бруно считал, что в бесконечной Вселенной существует бесконечное множество

звезд, одинаково находящихся в движении и являющихся центрами своих звездных систем. Точно так же он предлагал рассматривать взгляды либеральных протестантов и католиков на евхаристию как сходные по смыслу (т. е. имеющие одинаковый статус).

КАК ЖЕ соотносились эти взгляды Джордано Бруно с политической обстановкой того времени? Англия, стремясь поддерживать равновесие сил, постоянно вступала в союз то с Францией, то с Испанией, в зависимости от того, кто из них был в данный момент слабее. В конце XVI в. Испания была сильна и религиозно крайне ортодоксальна. В то же время Францию раздирала на части жестокая и длительная гражданская война, в которой Испания поддерживала католическую партию Гизов в ее борьбе против протестантов. Между двумя враждующими сторонами оказались французский король Генрих III и его сторонники, придерживавшиеся умеренных взглядов. Тем не менее союзу между ними и Англией, который, казалось бы, устраивал и тех и других, препятствовала официальная приверженность Франции католицизму. Поэтому преодоление религиозных разногласий имело бы огромное значение для формирования такого союза.

Джордано Бруно был убежден в том, что вдохновленный и просвещенный герметизмом монарх мог бы привести мир к «золотому веку», руководствуясь при этом «истинной философией». В качестве кандидатов на эту роль он сначала рассматривал французского короля Генриха III, затем английскую королеву Елизавету I и, наконец, французского короля Генриха IV. Через два года после публикации «Вечери» в разговоре с Гильомом Котэном, библиотекарем аббатства Св. Виктора в Париже, Джордано Бруно упомянул о том, что в 1582-1585 гг. он был кем-то вроде духовного посла либеральных католиков Генриха III при либеральном протестантском дворе Елизаветы I. Впоследствии вера Джордано Бруно в возможности Генриха IV была столь велика, что в 1591 г. он имел неосторожность прервать свои странствия по Европе и вернуться в Италию. Судя по всему, он рассчитывал по возвращении обратиться в свой герметизм самого папу.

Эти необдуманные действия Джордано вскоре имели для него самые печальные последствия. Он был арестован венецианской инквизицией по сфабрикованным обвинениям и заключен в тюрьму. Через год его перевезли в Рим, где он находился в заключении еще семь лет. В тюрьме Джордано

LA CENA DE le Ceneri.

DESCRITTA IN
CINQUE DIALOGI, PER
quattro interlocutori, Con tre con-
siderazioni, Circa doi

Suggetti.

Jordanus Brunus Nolanus

All' unico refugio de le Muze. l' Illustriffi, Michel
di Castellnoovo. Sig. di Mauiffier, Concrefiato, et
di Iouilla, Cavalier del ordine del Re Christianiff, et
Configliar nel suo priuato consiglio. Capitano di
50. huomini d'arme, Governator et Capitano di
S. Desiderio. et Ambasciator alla Sereniff.
Regina d' Inghilterra.

J. Balthazar.

L' vniuersale intentione e' dichiarata nel proemio.

1584.



ДЖОРДАНО БРУНО изложил свои взгляды на коперниковую картину Вселенной в сочинении «La Cena de le ceneri» («Вечеря в первый день Великого поста»). Оно было написано на итальянском языке и опубликовано в Англии в 1584 г. (здесь изображен титульный лист книги). Английский перевод, выполненный авторами этой статьи, вышел в свет в 1977 г. Книга написана в виде дискуссии по различным аспектам системы Коперника; подлинной целью Джордано Бруно было использовать идеи Коперника в качестве аллегии для теологических и политических рассуждений. Подзаголовок последовательно подводит читателя к теме единства, которой пронизана вся книга: «Описание в форме пяти диалогов, которые ведут четверо собеседников, с тремя размышлениями по двум вопросам [священным] единственному убежищу муз».

Бруно не представлял для папства никакой реальной угрозы. У него не было ни последователей, ни денег, ни влияния. При естественном ходе событий он мог бы просто просидеть в тюрьме до самой смерти или до того времени, когда его бы полностью забыли. Судя по всему, его казнь явилась результатом политической сделки между папой и испанскими Габсбургами.

Расправляясь с Джордано Бруно, обе стороны как бы предупреждали всех, кто имел к нему какое-либо отношение, что они не потерпят никаких выступлений ни против религиозной ортодоксальности, ни против политического статус-кво, который, как мы в дальнейшем увидим, был тесно связан с этой ортодоксальностью.

Тем не менее философское наследие Джордано Бруно сохранялось в начале XVII в. в виде конгломерата идей, проповедуемых неорганизованной группой интеллектуалов, называвшихся розенкрейцерами. Надежды розенкрейцеров на возрождение пифагорейства вспыхнули с новой силой в 1613 г. в связи с женитьбой Фридриха V, курфюрста Рейнского Палатината, на Елизавете Стюарт, дочери английского короля Якова I. Этот брак, получивший название «слияние вод Темзы и Рейна», знаменовал собой, по их мнению, возврат к «золотому веку» Елизаветы I.

В 1618 г. Фридрих и Елизавета были избраны королем и королевой Богемии, которая время от времени играла роль центра религиозной терпимости и либерализма. Почти немедленно они были низложены императором «Священной Римской империи»: это послужило началом Тридцатилетней войны, во время которой политические и религиозные споры конца XVI в. разгорелись с новой силой. В это время и возник своеобразный «розенкрейцеровский комплекс»: сильный и навязчивый страх перед возможным проникновением розенкрейцеровской заразы в католические твердыни.

ТАКОВЫМ БЫЛ преобладающий политический и религиозный климат, когда в 1632 г. было опубликовано популярное изложение коперниковых взглядов Галилея, книга «Диалог о двух главнейших системах мира: птолемеевой и коперниковой». Эта публикация имела большое значение для людей, у которых религиозные конфликты конца XVI в. были еще свежи в памяти. В политической и религиозной атмосфере, столь живо напоминавшей атмосферу 90-х годов XVI в., очень легко было спутать цели, преследуемые Галилеем, с намерениями Джордано Бруно. Это и послужило причиной возникновения второй, совершенно отличной от первой легенды: для общественного мнения 1633 г. Галилей стал возрожденным символом политического и религиозного переворота, заняв тем самым, сам того не желая, то место, которое Джордано Бруно занимал три десятилетия ранее.

Сегодня мы знаем, что идеи Галилея являли собой решительный поворот от образа мысли эпохи Возрождения. Более того, часто утверждается, что идеи Галилея относительно строения Вселенной явились его величайшим вкладом в мировую науку. К сожалению, это вовсе не значит, что подавляющее большинство его современников это ясно себе представляли. Они были не в состоянии понять не только его методы и выводы, но даже его цели и намерения.

Отсутствие такого понимания усугублялось еще и тем, что читатель эпохи позднего Возрождения привык к намеренно туманному изложению. Такой стиль очень широко применялся, даже когда для этого не было видимых причин. Частично его популярность объясняется страстью к вычурности и особой изысканности речи. Кроме того, считалось, что знание является достоянием только посвященных и что понимание может прийти лишь как результат упорной работы над текстом. Произведения эпохи Галилея часто отличаются многозначительностью, давая возможность усердному читателю погружаться в их глубины. Подобный литературный принцип считался наиболее подходящим для отражения реальной действительности, которая раскрывает свои секреты только наиболее усердным и одаренным. Само собой разумеется, что Джордано Бруно широко пользовался подобным методом.

Галилей подчеркнуто отказался от такой манеры изложения, однако оценить это по достоинству сейчас гораздо проще, чем в начале XVII в. В то время находились люди, полагавшие,



КАРДИНАЛ РОБЕРТ БЕЛЛАРМИН сыграл важную роль в решении судьбы Джордано Бруно в 1600 г., и он же лично предостерег Галилея в 1616 г. от защиты теории Коперника о вращении Земли. Тем не менее из беседы с ним Галилей понял, что Беллармин не исключает рассмотрения точки зрения Коперника в качестве научной гипотезы. Беллармин умер до суда над Галилеем в 1633 г., не разъяснив этой двойственной позиции церкви. Этот портрет Беллармина хранится в римской церкви Святого Игнатия, там же погребен и он сам.

что и в его произведениях есть скрытый смысл; в частности, его «Диалог» легко можно было принять за продолжение «Вечери» Джордано Бруно.

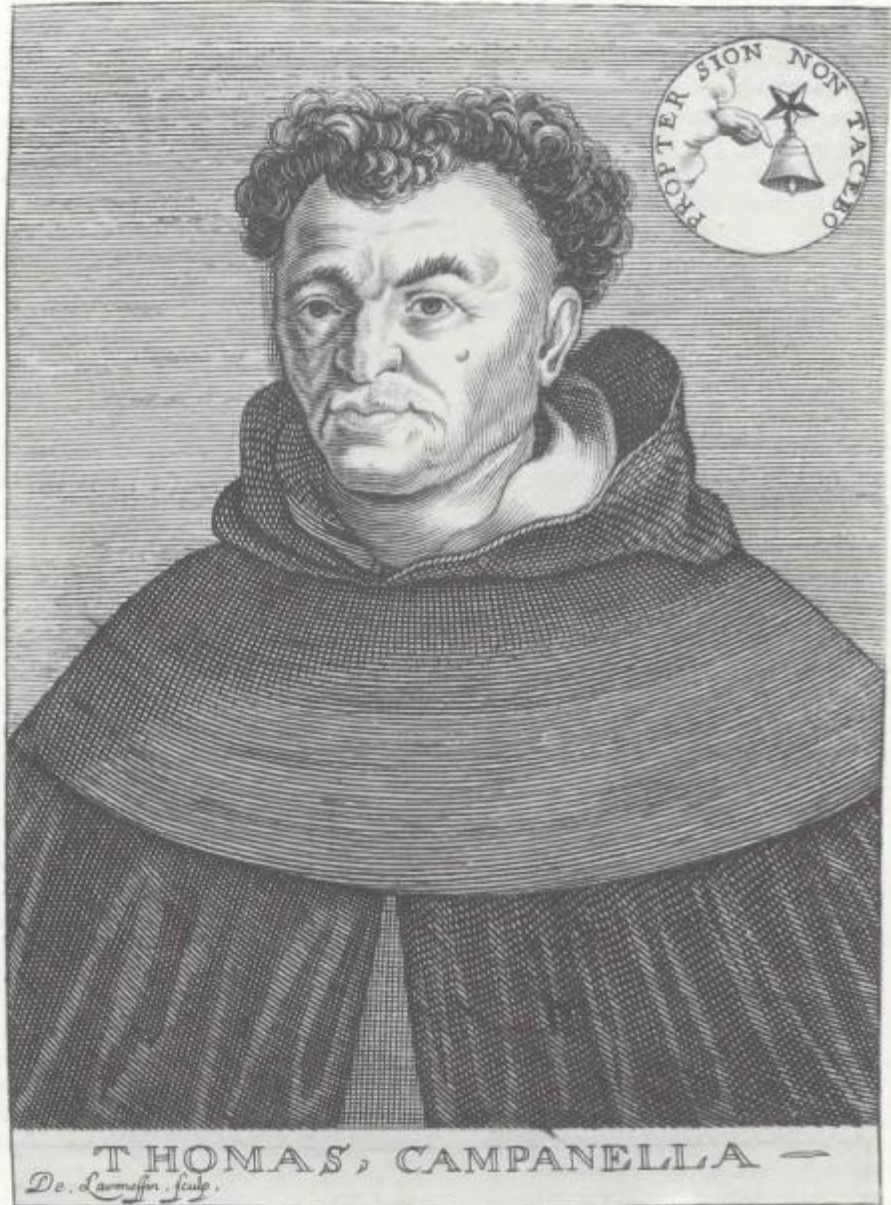
На чем же основывалась такая точка зрения? Во-первых, были, так сказать, внешние литературные факторы. До «Диалога» Галилей написал сочинение под названием «Звездный вестник», а Джордано Бруно в своей «Вечере» называет звезды «божыми вестниками». Кроме того, Бруно в «Вечере» и Галилей в «Письме к Великой герцогине» высказали похожее отношение к Священному писанию. И в том, и в другом произведении утверждается, что Библия часто ориентируется на обыденное сознание людей, и поэтому там могут содержаться высказывания о природе, которые, будучи воспринятыми буквально, не являются истинными. По тем временам подобное утверждение выглядело достаточно эксцентричным, для того чтобы имена его авторов тесно ассоциировались друг с другом. Наконец, следует упомянуть, что и Галилей, и Джордано Бруно называли теорию Коперника пифагорейской, и этот термин часто использовался как синоним политически одиозного термина «герметистский».

БОЛЕЕ ТОГО, «Вечеря» Бруно и «Диалог» Галилея очень похожи по форме. Например, в качестве собеседников в обоих диалогах выступают изысканные господа и догматики-аристотелианцы. И тут, и там долго обсуждается мысленный эксперимент из области механики: если сбросить камень с вершины мачты движущегося корабля, в каком месте палубы он упадет? В обоих сочинениях дается один и тот же правильный ответ: камень упадет у подножия мачты. Независимо, что выводы из этого мысленного эксперимента делаются совершенно разные, а доказательства, приводимые Джордано Бруно, выглядят несостоятельными, если, конечно, их воспринимать в чисто физическом смысле. Читатель, не слишком интересующийся физикой, очень легко мог отождествить цели авторов обоих трудов. Более того, оба сочинения написаны на итальянском языке. Сегодня известно, что причины отхода от латыни, употреблявшейся обычно в научной литературе того времени, в обоих случаях были совершенно различны, однако и здесь читатель мог заподозрить, что оба автора использовали «вульгарный» язык именно для того, чтобы возбудить как можно более широкие споры.

Есть и другое, более общее сходство в форме этих двух произведений,

которое легко могло способствовать неверной интерпретации намерений Галилея. В обоих случаях система Коперника рассматривалась отнюдь не в математическом или в техническом аспекте, причем авторов совершенно не интересовали как раз те ее конкретные детали, которые представляли интерес для астронома. Как было показано выше, Джордано Бруно использовал взгляды Коперника в качестве условного символа своих рели-

гиозных и объединительных концепций. Работа Галилея целиком посвящена философии и науке, но и он не отстаивает систему Коперника в том виде, в каком она была известна в то время. Вместо этого он проводит широкое сопоставление своей философской концепции природы и философии Аристотеля. Поэтому опять же можно заподозрить, что «Диалог» имеет свой тайный смысл, точно так же как и «Вечеря».



ТОММАЗО КАМПАНЕЛЛА (гравюра Николаса де Лармессина, XVII в.), бывший доминиканский монах, был заключен в тюрьму в 1599 г. за то, что он возглавил восстание против Габсбургов в Южной Италии. Несмотря на пытки, голод и холод, он написал в тюрьме много работ, посвященных герметизму и философским идеям Коперника. В 1616 г. он написал «Apoloogia pro Galileo» («В защиту Галилея»), где пытался доказать совместимость взглядов Галилея в астрономии с доктринами ортодоксального римского католического богословия. В дальнейшем Кампанелла некоторое время пользовался доверием папы, но вскоре опять впал в немилость. Он сыграл заметную роль в цепи событий, приведшей в конце концов к тому, что Галилей предстал перед судом инквизиции. Девиз «Propter sion non tacebo» отражает неукротимость Кампанеллы: «Во имя града Небесного я никогда не умолкну».

Третья важная причина смешения взглядов Галилея и Бруно заключалась в уже упоминавшейся тесной связи, существовавшей в то время между политикой и религией. Учение Коперника широко ассоциировалось с революционной политической и религиозной мыслью той эпохи. В 1599 г. Том-

мазо Кампанелла, бывший доминиканский монах, поднял восстание против Габсбургов в Калабрии, на юге Италии. Целью Кампанеллы было воссоздание знаменитого античного пифагорейского города Кротона в Калабрии. Однако восстание было быстро подавлено, и он провел следу-

ющие 26 лет своей жизни в тюрьме. Там он не терял времени. В 1600 г. он написал свой «Город Солнца» — произведение в духе герметизма и Коперника (хотя оно и не имело никакого отношения к астрономии). Через несколько лет после его ареста тюремщики потеряли к Кампанелле всякий интерес, и он получил возможность спокойно писать. Возможность эту он использовал сполна.

В 1616 г. Кампанелла узнал, что иезуит и кардинал Роберт Беллармин собирается предостеречь Галилея относительно тех опасных теологических выводов, которые можно извлечь из его научных концепций. В связи с этим Кампанелла срочно пишет «Arologia pro Galileo». В этом произведении он пытается доказать, что взгляды Галилея куда лучше согласуются с официальной теологией, чем система Птолемея, причем аргументация Кампанеллы в данном случае очень схожа с утверждениями как Джордано Бруно, так и Галилея. Кстати, эта работа Кампанеллы — единственная, где он упоминает Джордано Бруно, и этот факт, возможно, впоследствии стал свидетельством против Галилея.

Кроме того, Кампанелла написал Галилею из тюрьмы несколько писем, из которых следует, что он видел в Галилее примерно то же, что и Джордано Бруно в Копернике: гения, предвещавшего торжество новой истины, не понимая при этом философского значения его открытий. Не подлежит сомнению, что подобное отношение к Галилею разделялось и многими другими, настроенными к нему отнюдь не столь дружелюбно.

У НАС ЕСТЬ ВСЕ основания полагать, что именно тесная связь, которую усматривали между Галилеем и Кампанеллой (вне зависимости от желания самого Галилея), стала главным фактором, приведшим в конце концов к отречению Галилея. Когда Кампанелла был освобожден из тюрьмы, ему удалось добиться благосклонности папы. В конце 20-х годов XVII в. отношения между папой Урбаном VIII и Испанией сильно обострились из-за частично тайной и весьма неуклюжей профранцузской политики, проводимой папой. В результате между ними началась своего рода психологическая война, в которой испанцы пытались сыграть на вере Урбана в астрологию: астрологи предсказывали смерть папы сначала в связи с солнечным затмением в июне 1628 г., а затем в декабре 1630 г. Кампанелла пользовался репутацией мага, или волшебника, поэтому Урбан прибег к его помощи для нейтрализации



ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ сочинения Галилея «Диалог о двух важнейших системах мира: птолемеевой и коперниковой» украшен эмблемой печатника, изображающей трех плывущих друг за другом по кругу рыб. Непреднамеренная символика эмблемы вызвала настоящее смтение в католических кругах. Рыб сочли дельфинами — хотя они вроде бы на них не похожи, — а дельфины были немедленно истолкованы как образ герметистских и брунонианских идей, осужденных церковью. В условиях Тридцатилетней войны эмблема также толковалась как символ философской и богословской поддержки Франции автором. Девиз эмблемы «Grandior ut proles» («Величественнее, чем потомки»), привел к необоснованному обвинению Галилея в том, что он продолжает дело Джордано Бруно, опираясь на еще более высокого предшественника, например Аполлона, Пифагора или Гермеса Трижды Величайшего. Подобные имена ассоциировались с официально осужденной философией герметизма.

угрозы, которую несло затмение. Судя по всему, волшебство Кампанеллы «сработало», так как папа не умер.

Этот успех Кампанеллы позволил ему на несколько лет войти в доверие к папе. Необходимо было, однако, держать всю эту магию в строгой тайне. Дело в том, что еще в 1600 г. иезуит Мартин дель Рио выразил мнение всей святой церкви, осуждавшее многие виды магии. Разумеется, широкой общественности не пристало знать, что сам папа прибегает к ее услугам, которые могут быть расценены как еретические.

Кампанелла использовал свои «антизатменные» достижения для пропаганды герметизма и в какой-то степени ему удалось добиться успеха. Урбан даже разрешил Кампанелле организовать школу, которая должна была носить его прежнее имя — Барберини, для подготовки миссионеров с целью обращения верующих в «реформированный», «естественный» католицизм (подобные определения служили своего рода паролем герметизма). Урбан нашел, что герметизм Кампанеллы вполне созвучен его собственной чисто политической профранцузской позиции. Он вступил в союз с Францией. Однако как раз в это время Франция выступила на стороне шведского короля-протестанта Густава Адольфа. К 1632 г. шведский король достиг таких поразительных военных успехов, что само политическое существование «Священной Римской империи» и соответственно духовная власть римской католической церкви оказались под серьезной угрозой в значительной части Германии.

Таким образом, профранцузская политика папы оказалась чересчур успешной. В создавшейся ситуации игнорировать растущую враждебность Габсбургов было уже нельзя. Неудивительно поэтому, что в свете подобных событий Урбан начал рассматривать Кампанеллу как лжепророка, а его учение — весьма опасным. Поскольку для папы Кампанелла, Джордано Бруно, герметизм и коперниканство были неразрывно связаны друг с другом, для него было совершенно естественно связать их и с еще одним известным последователем Коперника — Галилеем. Учитывая соответствующую обстановку страха и подозрительности, подобный ход рассуждений вполне мог привести папу и римские власти к ошибочному взгляду на Галилея как врага католической церкви, религиозного либерала и, возможно, даже герметиста.

БЫЛА и четвертая причина, заставлявшая людей эпохи Возрождения видеть в Галилее нового Джордано

Бруно, причем для современного человека эта причина выглядит весьма странной. На титульном листе «Диалога» Галилея печатник Джованни Батиста Ландини изобразил что-то вроде эмблемы в виде трех дельфинов, плывущих друг за другом по кругу (см. рисунок на с. 86). Эта эмблема могла быть истолкована — и в самом деле была истолкована — крайне неблагоприятно для Галилея. В письме к одному из друзей Галилея во Флоренцию его римский ученик Филиппо Магалотти пересказывает свой разговор с отцом Никколо Риккарди, флорентийцем, занимавшим при дворе папы высокую должность магистра священного дворца, т. е. личного богослова папы. Магалотти, в частности, пишет:

«Утром в понедельник его высокопреподобный отче... навещил меня. Он раскрыл мне еще одну причину, по которой он хотел бы иметь... «Диалог». . . Под большим секретом он сказал мне, что эмблема, изображенная на обложке, была воспринята как тяжелое оскорбление. . . Услышав это, я рассмеялся. . . и сказал, что могу с полной ответственностью уверить его в том, что синьор Галилей не такой человек, чтобы таким ребяческим способом скрывать великие тайны, и что в своей книге он достаточно ясно выразил свои мысли. Я заявил, что абсолютно уверен в том, что эмблема рождена фантазией печатника. Услышав это, он, казалось, очень обрадовался и сказал, что если это в самом деле так... то для автора это будет очень счастливым обстоятельством».

В эпоху Возрождения дельфин прочно входил в общепринятую символику, однако эмблема в «Диалоге» была очень нестандартна. Именно предположения об ее «истинном» значении и оказались одним из тех факторов, что зародили в Риме недоверие к книге Галилея. Риккарди благожелательно относился к Галилею, и его беспокойство наряду с утверждением, что все дело против Галилея зависело от эмблемы, доказывает, какую важную роль она играла. В то время символика часто использовалась для передачи тайного смысла, и римские власти заподозрили, что Галилей и Ландини вместе придумали эмблему как раз с подобной целью или, возможно, в качестве ключа к содержанию всего труда.

Подозрительный ум мог усмотреть очень опасные для Галилея толкования эмблемы. Вначале дельфин ассоциировался с храмом бога Аполлона в Дельфах. Согласно греческой мифологии, Аполлон был отцом Асклепия, а тот был одной из ключевых фигур в герметистских мифах. Более того, в

«Илиаде» Гомера Аполлон изображен как один из главных покровителей Трои, а один из уцелевших троянцев, Франкус, согласно легенде, считался основателем династии французских королей. К тому же, если следовать подобной линии рассуждений, можно было обнаружить этимологическое родство слов «дофин» и «дельфин». В условиях Тридцатилетней войны подобная связь между Францией и Троей могла быть очень скверно интерпретирована: например, как передача мантии Аполлона — или, пользуясь христианской терминологией, святого духа, освящающего папскую власть, — от Рима ко все более влиятельной боковой ветви троянцев во Франции.

Правда, в дальнейшем все эти подозрения рассеялись. После весьма неловкой задержки Магалотти удалось предъявить Риккарди другую книгу, ранее напечатанную Ландини с той же эмблемой. Однако к этому времени страсти уже разгорелись: Риккарди поднял большой шум по поводу теологического содержания «Письма к Великой герцогине», к существованию которого в рукописи Магалотти имел неосторожность привлечь его внимание. Мы уже упоминали о некоторых возникавших в связи с «Письмом» проблемах; отныне враги Галилея имели на руках более весомые козыри.

ТЕПЕРЬ мы можем ясно представить себе, каким образом ошибочный взгляд на Галилея как на сторонника герметизма в купе с общей политической ситуацией того времени привел в действие могущественную судебную машину, взявшую его в оборот. Урбан VIII предпочитал избегать крайностей религиозной ортодоксальности и «контрреформистского» рвення. Его политические и личные симпатии заставляли его держаться подальше от Испании и, следовательно, ориентироваться на Францию. В то же время, как уже говорилось, его политика вызвала в Испании растущее недовольство.

В 1631 г. кардинал Гаспаре Борджиа, испанский посол при папском престоле, все более решительно требовал от папы оказать Испании реальную поддержку. Урбан, опасаясь растущей враждебности Испании, заявил о своей готовности попытаться отговорить Францию от союза со Швецией. Несмотря на это, в марте 1632 г. Борджиа открыто выступил с нападками на папу в консистории — совете кардиналов. Урбан был взбешен, однако предпочел промолчать, чтобы избежать открытого разрыва с испанским королем Филиппом IV.

Конечно, для того, чтобы умаслить

испанцев, Урбан мог бы выступить против Франции, но тогда мог прозойти разрыв с французской церковью. Единственное, что ему оставалось, — это предпринять какой-нибудь не слишком обязывающий, но глубоко символический шаг. Он мог публично принести в жертву человека, который ассоциировался бы с его профранцузской политикой, а также с философией герметизма, от которой ему очень нужно было отмежеваться. Очевидным кандидатом на эту роль был Кампанелла. Он, несомненно, был связан как с профранцузской политикой, так и с философией, направлявшей ее. Кроме того, он больше не был ему нужен.

Но Кампанелла слишком много знал. Если бы против него были предприняты какие-либо жесткие меры, то некрасивая история о папе, прибегавшем к помощи еретической магии, неизбежно всплыла бы на свет. Поэтому следующим кандидатом становится Галилей. Его связь с Кампанеллой в глазах общественности усугубило и то, что автор предварительного доклада комиссии, назначенной для разбирательства «Диалога», по ошибке вместо Галилея вписал имя Кампанеллы и был вынужден его вымарывать.

И все же, даже при таких чрезвычайных обстоятельствах, Урбан мог бы подыскать другую жертву, поскольку давно был о Галилее самого высокого мнения. К несчастью, как раз именно в это самое неподходящее время Галилей задел самолюбие папы. Как-то в разговоре с ним Урбан утверждал, что бог мог достигать своих целей бесконечным множеством путей: по его выражению, «не следует лишать бога выбора». Зная о приверженности Галилея идеям Коперника, папа требовал от него не делать определенного выбора между системами Птолемея и Коперника. Галилей все исполнил в точности: «Диалог» заканчивается утверждением о недопустимости выбора между этими двумя позициями. Однако это утверждение выглядит явно лицемерным, а точка зрения Урбана высказывается в книге догматичным и недалеким Симплицио. В результате Урбан без особых колебаний принес Галилея в жертву, когда это ему понадобилось.

Таким образом, три фактора совпали разом. Политическая ситуация требовала жертвы. Работы Галилея, истолкованные людьми достаточно умными, но не понимавшими его истинных намерений, сделали его наиболее вероятным кандидатом на заклание. И наконец, явная насмешка над папой лишила его расположения

Урбана в самый критический момент. Приписывание Галилею идей герметизма дало толчок событиям, в ход которых впоследствии вмешались уже другие силы.

СОГЛАСНО одному из наименее убедительных традиционных объяснений тех бед, что постигли Галилея, их главной причиной была личная неприязнь папы. Однако личные чувства Урбана никогда не заставили бы его привести в действие всю чудовищную судебную машину инквизиции против Галилея. Огромная разница в социальном и политическом положении Урбана и Галилея сделала бы подобную реакцию на личную обиду совершенно неуместной. Более правильный взгляд на этот суд поможет правильнее понять причины столь сурового решения папы. Учитывая объективные политические требования момента и то, что Галилей как раз вписывался в них, нетрудно представить, что именно их совпадение с личной обидой Урбана привело к трагическим для Галилея последствиям.

В свете вышесказанного легко можно понять и двойственность дальнейшего отношения Урбана к Галилею. Когда Галилей был вызван в Рим, он был стар и болен, но даже когда он ослеп, Урбан с негодованием отказался смягчить условия его дальнейшего «домашнего ареста». И в то же время он никогда не пытался помешать продолжавшемуся возвышению Галилея даже высокопоставленными священнослужителями. Никогда не пытался Урбан лично воспрепятствовать и публикации сочинений Галилея, что он, конечно бы, сделал, если бы считал того опасным не только в связи со своими отношениями с Испанией. Теперь, когда Галилей сыграл свою роль символической жертвы, дальнейшее отношение к нему папы определялось скорее личным гневом, чем официальной враждебностью.

Итак, Галилей, точно так же как до него Джордано Бруно, стал символической жертвой в ту эпоху, которая придавала огромное значение символам. Он стал жертвой своей всевропейской известности, и потому его судьба не могла остаться незамеченной. Постигшее его наказание несло в себе все тот же урок 1600-го года: антигабсбургские, профранцузские, религиозно-примиренческие взгляды являются ересью или граничат с ней. Враги Галилея и обстоятельства момента исказили его истинное лицо, и в результате он предстал перед судом инквизиции в 1633 г. в качестве восхристого Джордано Бруно, чтобы породить легенду.

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.



Средство от простуды

ОДНА ИЗ обычных вирусных инфекций, простуда, до сих пор не сдает своих позиций. В организме человека иммунитет к простуде не вырабатывается, и мало надежды, что удастся создать вакцину, способную вызывать искусственный иммунитет. Иммунная система не может обеспечить защиту от простуды, так как вызывающие ее инфекционные агенты очень разнообразны. В большинстве случаев простуда вызывается вирусами из группы риновирусов, которая включает не менее 100 штаммов. Та часть капсида (белковой оболочки) вирусной частицы, которая доступна для взаимодействия с антителами, у разных штаммов различна по структуре. Поэтому антитела против какого-то одного штамма риновирусов недействительны в отношении других штаммов.

Создать защиту от всех разнообразных риновирусов сразу можно было бы, воспользовавшись каким-то свойством, общим для всех штаммов. В 1984 г. сотрудники фирмы Merck Sharp and Dohme P. Колонно и Г. Эйбрахам сообщили, что вирусные частицы большинства проверенных ими штаммов риновирусов, заражая клетки человека, связываются с определенным компонентом клеточной поверхности. Их этого следовало, что средство защиты от широкого спектра риновирусов имеет смысл разрабатывать, исходя из свойств общего рецептора клеточной поверхности. Другая возможность появилась в 1984 г., когда М. Россман из Университета Пардю и его коллеги, изучавшие риновирусы методом рентгеноструктурного анализа, описали структуру вирусной частицы с атомным разрешением. Они установили, что определенная последовательность аминокислот одного из вирусных белков, одинаковая у всех штаммов риновирусов, располагается в глубине узкой «расщелины», имеющейся на поверхности капсида. Для крупных молекул, в том числе антител, она недоступна, но более мелкие молекулы какого-либо противовирусного агента могли бы проникнуть в это углубление к универсальной последовательности.

В настоящее время становятся реальною обе возможности. В сообщении, опубликованном в «Journal of Virology», и докладе, сделанном на съезде Американского микробиологического общества, Колонно и его коллеги предложили способ блокировать связывание риновирусов с их основ-

ным рецептором клеточной поверхности. Исследователи вводили мышам мембраны клеток человека, что вызывало у животных образование антител к различным поверхностным белкам человеческих клеток. Из этих разнообразных антител по меньшей мере один тип молекул должен быть специфичным к основному риновирусному рецептору. При добавлении в культуру клеток человека такие антитела должны связываться с рецепторными участками и, следовательно, защищать клетки от последующего воздействия вируса.

Чтобы найти антитела к рецептору, Колонно с коллегами выделяли у мышей клетки, секретирующие антитела, растили их в культуру и проверяли каждый тип секретируемых ими антител на способность блокировать риновирусную инфекцию. Из 7356 культур две продуцировали искомые антитела. *In vitro* эти антитела очень эффективно мешали действию вируса.

Теперь установлено, что принцип блокирования рецептора «работает» и *in vivo*. В опытах на небольшой группе шимпанзе (шимпанзе — единственные животные помимо человека, которые подвержены вирусной простуде) было показано, что после обработки носоглотки аэрозолем, содержащим антитела, вирус в организме не размножается. Исследования на людях-добровольцах, осуществленные Дж. Гуолтни-младшим и Ф. Хэйденом из Медицинской школы Виргинского университета, также дали обнадеживающие результаты. Никто из испытуемых, получавших антитела, не приобрел полную защиту от инфекции, но у них после заражения вирусом симптомы заболевания появлялись на 1—2 дня позже, чем у испытуемых из контрольной группы, и были гораздо слабее выражены.

Метод Колонно позволяет препятствовать первой стадии инфекции — связыванию вирусных частиц с поверхностью клетки организма - хозяина. Обычно вслед за этим вирус проникает внутрь клетки, сбрасывает свою белковую оболочку, и обнажившаяся нуклеиновая кислота приступает к выполнению своей функции — управляет образованием новых вирусных частиц. Работа группы Россмана, опубликованная в журнале «Science», указывает иной путь разработки препаратов, останавливающих вирусную инфекцию — вирусные частицы лишаются способности сбрасывать оболочку. Уже известны соединения, подавляющие процесс сбрасывания

оболочки у риновирусов и родственных им вирусов. Россман с сотрудниками изучали механизм действия двух таких соединений, обозначаемых WIN 51711 и WIN 52084. Они получили риновирус в кристаллическом виде, что необходимо для изучения его структуры методом рентгеноструктурного анализа, и обработали кристаллы этими агентами. При сравнении дифракционной картины обработанных и контрольных кристаллов выяснилось, что отдельные молекулы WIN связываются в области универсальной последовательности аминокислот, формирующей дно «расщелины» капсида. От дна углубления к состоящей из РНК сердцевине вирусной частицы ведет канал, и молекула WIN заходит в него, причем большая ее часть застревает в глубоком «кармане» канала, а остальная часть закупоривает основное «русло» канала.

Из такой картины следуют два возможных объяснения способности веществ типа WIN предотвращать сбрасывание оболочки вирусной частицы. Известно, что у некоторых вирусов растений для того, чтобы нуклеиновая кислота освободилась от белковой оболочки, необходимо проникновение ионов водорода внутрь вирусной частицы. Если поток ионов имеет значение и у риновирусов, то понятно, почему WIN, блокирующий каналы в капсиде, мешает сбрасыванию оболочки. Возможно также, что для сбрасывания оболочки нужно, чтобы сжался «карман» канала, а WIN, занимая его, не позволяет этому произойти; WIN скрепляет капсид, и оболочка стабилизируется.

Данные группы Россмана указывают, какими должны быть эффективные антириновирусные препараты, действующие аналогично соединениям типа WIN. Зная размеры и форму связывающего участка риновируса и природу взаимодействия с ним взятых за образец агентов, можно создать вещества, которые соответствовали бы «расщелине» так же, как WIN, или даже лучше. Структуры, сходные с участком связывания WIN, найдены или подозреваются у ряда родственных риновирусам вирусов, к числу которых принадлежат вирус полиомиелита и гепатита А. Таким образом, Россман и его коллеги нашли реальный путь разработки лекарств не только от простуды, но и от более опасных заболеваний.

Гиперскоп и псевдоскоп позволяют исследовать, как человек воспринимает глубину пространства

ДЖИРЛ УОЛКЕР

КАКИМ образом зрительная система отображает предметы трехмерными, несмотря на то что изображение на сетчатке двумерно? Объяснение этого феномена заключается в том, что человек неосознанно интерпретирует ряд признаков сетчаточного изображения, благодаря которым и создается ощущение глубины пространства. Т. Поуп из Университета Рединга сконструировал два прибора, которые позволяют изменять эти признаки, и с их помощью получил возможность исследовать восприятие трехмерного пространства.

Признаки расстояния и глубины могут быть объединены в пять групп: конвергенция, сетчаточная диспаратность, аккомодация, двигательный параллакс и картинность. Конвергенция связана с изменением угла между зрительными осями глаз. Сетчаточная диспаратность предполагает не-

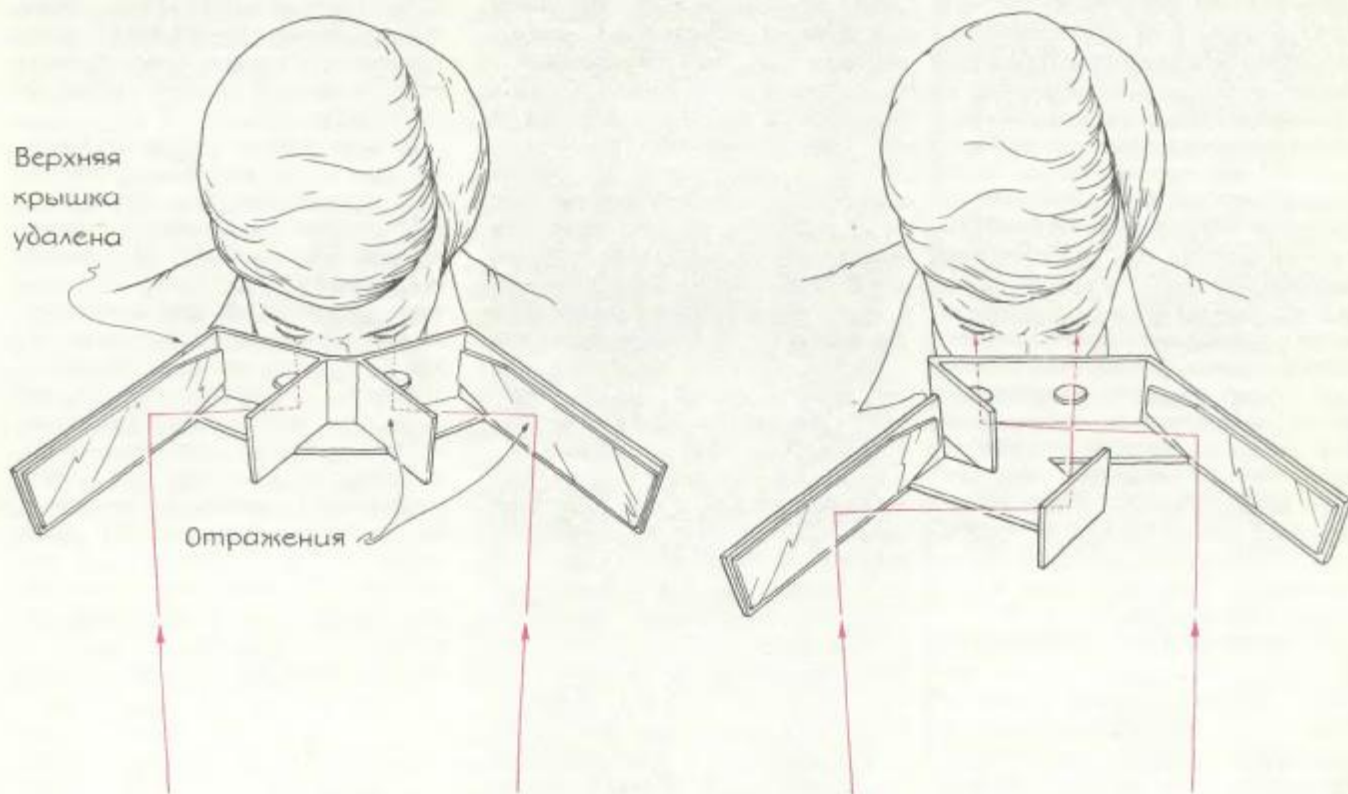
которое рассогласование в положениях изображений одного и того же предмета на разных сетчатках. Аккомодацией называется изменение формы хрусталика, необходимое для создания отчетливого изображения предмета на сетчатке. Двигательный параллакс — это относительное перемещение ближних и дальних предметов в поле зрения, возникающее при движении человека (его глаз) или предметов. Признак, называемый картинностью, содержит информацию о глубине даже плоской картины; имеются в виду линии перспективы, заслонение одного предмета другим, тени и изменение текстуры поверхности с удалением от наблюдателя.

Конвергенция и диспаратность участвуют в работе зрительной системы наиболее часто. Для описания этих признаков используют понятие оси зрения (или линии взора) — воображаемой линии, соединяющей пред-

мет и его изображение на сетчатке, когда человек смотрит прямо на предмет (фиксирует его). Предположим, что вы фиксируете предмет А. Его изображения лежат на осях зрения, а значит, в одинаковых местах на обеих сетчатках, так что в мозгу два образа сливаются в один. Угол между осями зрения называется углом конвергенции. Зрительная система связывает этот угол с расстоянием до предмета; чем больше угол, тем ближе кажется предмет.

Когда вы смотрите на предмет А, изображения более удаленного предмета Б находятся в различных участках каждой из сетчаток. Для зрительной системы это различие (диспаратность) выступает как признак глубины пространства между А и Б. Данное различие может быть интерпретировано и в терминах угла конвергенции: при фиксации на предмет Б угол между осями зрения меньше, чем при фиксации на предмет А. Поэтому Б должен восприниматься лежащим дальше, чем А.

Сетчаточная диспаратность зависит отчасти от расстояния между глазами, равного в среднем 6 см. Поуп попытался исследовать, как изменится восприятие пространства, если изменить это расстояние. В одном из его приборов, гиперскопе, благодаря отражениям от зеркал, это расстояние можно увеличить до 20 см. Подобные инструменты использовались



Гиперскоп (слева) и псевдоскоп (справа), изобретенные Т. Поупом

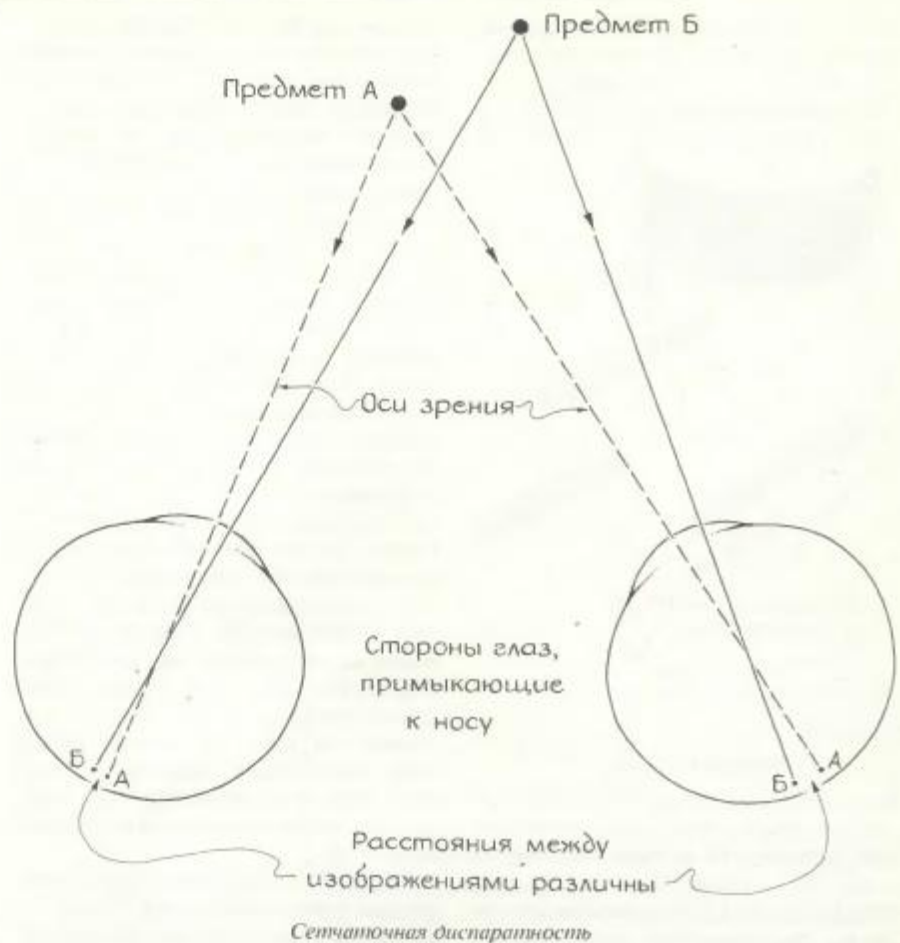
еще в XIX в. Ч. Уитстоуном и Д. Брюстером.

Увеличение эффективного расстояния между глазами приводит к увеличению сетчаточной диспаратности — различия в положениях изображений на сетчатках — и разности углов конвергенции, соответствующих рассматриванию двух разноудаленных предметов. Предположим, вы смотрите на предмет А через гиперскоп так, что предмет Б также находится в поле зрения. Новое различие в положениях изображений предметов на сетчатках принуждает вас считать, что расстояние между предметами по глубине стало больше. Кроме того, вы воспринимаете большую глубину потому, что стала больше и разница в углах конвергенции.

Гиперскоп изменяет также видимую высоту и ширину соседних предметов. При нормальных условиях зрения человек привыкает к определенному соотношению между размером изображения предмета на сетчатке и расстоянием до предмета. При наблюдении в гиперскоп предмет кажется уменьшившимся, поскольку угол конвергенции, необходимый для рассматривания его через зеркала, больше нормального значения.

Многие знакомые предметы принимают странные очертания, если рассматривать их в гиперскоп. Например, человеческое лицо утоньшается, а нос выступает вперед. Все предметы сразу же принимают свой нормальный вид, когда вы закрываете один глаз и смотрите в прибор другим глазом. В этом случае вы уже не в состоянии оценивать сетчаточную диспаратность или углы конвергенции и воспринимаете глубину пространства лишь на основе признаков картинности.

В другом приборе, сконструированном Поупом, псевдоскопе, зеркала используются для перестановки сцен, видимых каждым глазом. Эта перестановка «меняет местами» признаки, в основе которых лежит сетчаточная диспаратность и которые определяют расстояние до предмета, так что более удаленный предмет кажется более близким. Лично для меня изменения, происходящие с восприятием глубины пространства, ярче всего проявляются при рассматривании в псевдоскоп сложных скоплений предметов, например групп деревьев или зарослей кустарников. Ветви, растущие на задней стороне дерева, кажутся более близкими, чем ветви на передней стороне. Смотреть на это жутковато, так как я понимаю, что на самом деле передние ветви частично заслоняют задние. Пространство также представляется «вывернутым на-



изнанку», когда я смотрю на предмет, который мысленно легко «обратить». Так, например, кастрюля, висящая на стене дном наружу, может показаться обращенной выпуклостью не наружу, а внутрь.

Поуп изготовил несколько конструкций из прозрачной пластмассы, с которыми в псевдоскопе происходят странные вещи. Одна из них, называемая «ромбусом», состоит из двух пластмассовых параллелограммов, скрепленных металлическими штырями, и подвешивается на тонкой нити. На вершине «ромбуса» укреплено кольцо, сделанное из ленты с чередующимися синими и черными полосками, которое крепится к одному из штырей.

Я подвесил «ромбус» к потолку, закрутил его и, отпустив, стал наблюдать за его вращением в псевдоскоп с расстояния около 5 м. Вначале «ромбус» и кольцо вращались вместе — то в одну сторону, то в другую, в зависимости от того раскручивалась или закручивалась нить. Внезапно передняя и задняя поверхности «ромбуса» поменялись местами, и стало казаться, что «ромбус» и лента вращаются в противоположных направлениях. Созная, что два предмета жестко соединены, я не мог отделаться от ощу-

щения, что они вращаются в разные стороны. Это ощущение сохранялось, пока я не закрыл один глаз.

НЕКОТОРЫЕ виды печатной рекламы создают ощущение глубины пространства благодаря соседству по-разному окрашенных участков. Например, маленькие красные буквы на синем фоне при ярком освещении кажутся мне лежащими выше плоскости, на которой они изображены. Эта иллюзия усиливается, если я отодвигаю картинку дальше от глаз. По мере того как освещение делается слабее, буквы как бы опускаются на плоскость и затем отходят от нее дальше. При очень слабом освещении ощущение глубины пропадает. Если взять цвета, которые лежат между красным и синим концами спектра, ощущение глубины будет слабее.

Иллюзия глубины цветных картинок возникает вследствие расхождения лучей разных цветов в глазу (это явление называется хроматической дисперсией или абerrацией) и благодаря тому, что центр зрачка не лежит на оси зрения, которая проходит через данный зрачок. Когда луч света проходит через выпуклую роговую оболочку глаза, он преломляется и составляющие его лучи разных цветов



«Ромбус» Поупа

расходятся. Преломление измеряется относительно линии, перпендикулярной поверхности в точке вхождения луча (эта линия называется нормалью). Если падающий луч белого цвета, преломленный синий луч лежит ближе к нормали, чем красный. Лучи промежуточного цвета преломляются под углами, значения которых заключены между этими крайними значениями.

Из-за того что роговая оболочка глаза искривлена, нормали к ней в разных точках ориентированы по-разному. Следовательно, лучи, падающие на участок оболочки, расположенный ближе к носу, после преломления идут в ином направлении, чем лучи, которые упали на оболочку ближе к виску. Величина расхождения лучей в определенной точке зависит от угла между падающим лучом и нормалью в этой точке. Чем больше угол, тем больше расхождение. Дополнительное расхождение возникает в хрусталике.

Для того чтобы познакомиться с этой иллюзией, которая называется явлением цветовой стереоскопии, на-



Явление цветовой стереоскопии

рисуйте на черной карточке два небольших кружка — синий и красный. Я предпочитаю вырезать кружки из бумажной шкалы цветности, указывающей чистые тона и служащей для контроля при цветной печати и фотографировании. Могут согнуться и кружки, покрашенные обычной ручкой, но то, что тона в этом случае не чистые, ослабляет иллюзию. Расположите кружки близко друг к другу, поместив красный слева. Осветите карточку ярким светом и зафиксируйте взором красный кружок. Лучи, идущие от кружка, преломляются на роговой оболочке каждого глаза, проходят через хрусталик и создают резкое изображение в той точке, где ось зрения пересекает сетчатку. Если бы и второй кружок был красного цвета, его изображение также было бы резким и располагалось бок о бок с первым изображением. Однако изображение кружка синего цвета оказывается размытым. Лучи синего цвета преломляются сильнее и поэтому пересекаются перед сетчаткой. В момент достижения поверхности сетчатки они уже расходятся. Это и является причиной размытости изображения.

Имеются две причины, по которым центры синего (размытого) и красного (резкого) изображений не совпадают. Во-первых, при ярком свете зрачок максимально сужается, а его центр локализуется ближе к виску от линии зрения. Световые лучи, падающие на половину глаза, которая ближе к виску, могут отстоять дальше от оси, чем лучи, падающие на другую половину глаза, и таким образом большая часть размытого изображения оказывается лежащей ближе к носу от оси зрения. Во-вторых, смещение размытого изображения возникает вследствие отклонения оси зрения от оси симметрии, которая лежит ближе к виску под углом примерно 5° к оси зрения. По этой причине свет, проходящий через участок хрусталика, лежащий ближе к виску, преломляется больше, чем свет, который проходит ближе к носу. То, что синее изображение на сетчатке оказывается смещенным ближе к носу относительно красного изображения, создает иллюзию глубины: синий кружок воспринимается лежащим дальше, чем красный.

Кажущаяся глубина картины не изменится, если вы переведете взор на синий кружок. В этом случае синее изображение сформируется на сетчатке в том месте, где ось зрения пересекает сетчатку. Лучи красного цвета, которые преломляются слабее, сфокусировались бы за поверхностью сетчатки. Поэтому, падая на сетчат-

ку, они образуют размытое изображение, центр которого лежит ближе к виску относительно синего изображения. И на этот раз синий кружок кажется лежащим дальше, чем красный, поскольку синее изображение располагается ближе к носу.

Относительное положение цветных изображений изменяется с уменьшением освещения, поскольку каждый зрачок эксцентрически расширяется и его центр перемещается ближе к носу. Когда центр зрачка попадет на ось зрения, центры размытого и резкого изображений почти совпадают и кружки кажутся равноудаленными.

При дальнейшем уменьшении освещения зрачок продолжает расширяться, а его центр смещается еще дальше от оси зрения к носу. Это приводит к тому, что синее изображение на сетчатке смещается и оказывается лежащим с той стороны красного кружка, которая ближе к виску. Соответственно, восприятие глубины картины меняется на обратное по сравнению с первоначальным.

Многие люди не в состоянии ощутить глубину картины в описанном опыте, в то время как другие видят буквы постоянно выше или ниже фоновой плоскости, даже когда уровень освещения изменяется. Мне кажется, что у представителей первой группы знание того, что кружки находятся на одинаковом расстоянии от них, подавляет иллюзию. У представителей второй группы, которые воспринимают различие, центр зрачка, вероятно, всегда находится по одну сторону от оси зрения, независимо от изменения размера зрачка.

В 1965 г. Б. Кишто, житель острова Маврикий в Индийском океане, описал в журнале "Vision Research", как продемонстрировать хроматическую дисперсию, освещая только одну половину глаза. Пытаясь воспроизвести его опыты, я закрывал карточкой ту половину поля зрения каждого глаза, которая прилегала к носу, и рассматривал кружки. Свет, падавший в глаз со стороны виска, преломлялся. Поскольку лучи синего света лежат ближе к нормали роговой оболочки, чем лучи красного света, синее изображение обрезалось у той стороны красного изображения, которая была ближе к носу. В результате синий кружок казался более удаленным, чем красный.

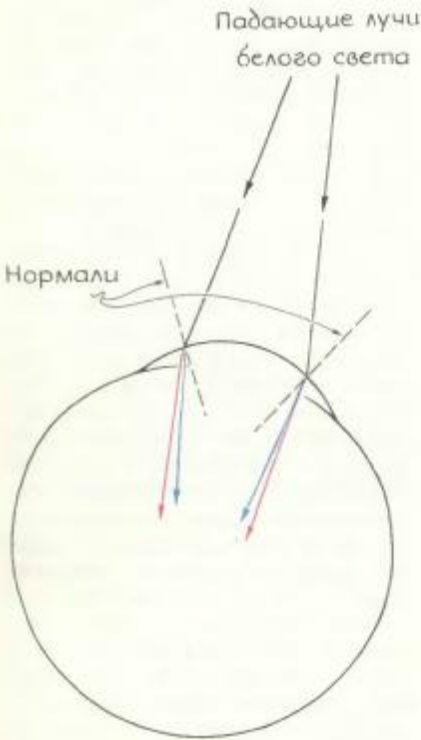
Затем я закрыл карточкой половину поля зрения, лежащую ближе к виску. Хотя синий свет всегда преломляется сильнее красного, изменение ориентации нормали приводило к изменению относительных положений изображений. Синее изображение находилось на этот раз ближе к виску, чем крас-

нос, и в результате синий кружок казался лежащим ближе, чем красный.

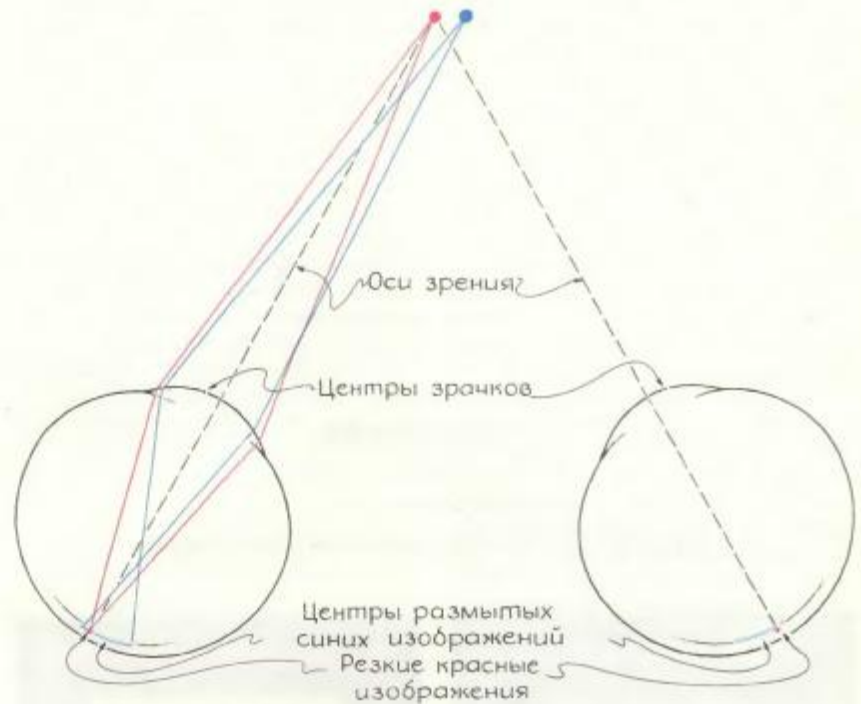
Таких же результатов можно добиться, рассматривая кружки через маленькое отверстие. Возьмите би-

блиографическую карточку и проделайте в ней отверстие диаметром 2 мм. Закройте один глаз и смотрите на цветные кружки через отверстие другим глазом. Синий кружок кажет-

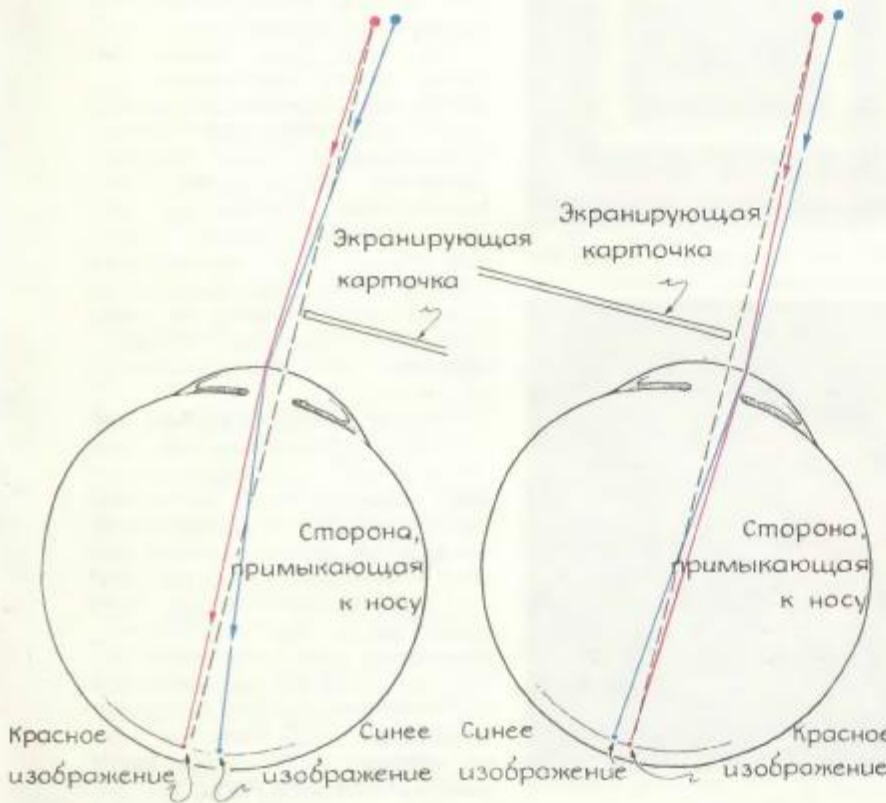
ся более далеким, чем красный, если отверстие находится перед открытым глазом с височной стороны. Если поместить отверстие ближе к носу, кажущаяся глубина картины изме-



Хроматическая дисперсия



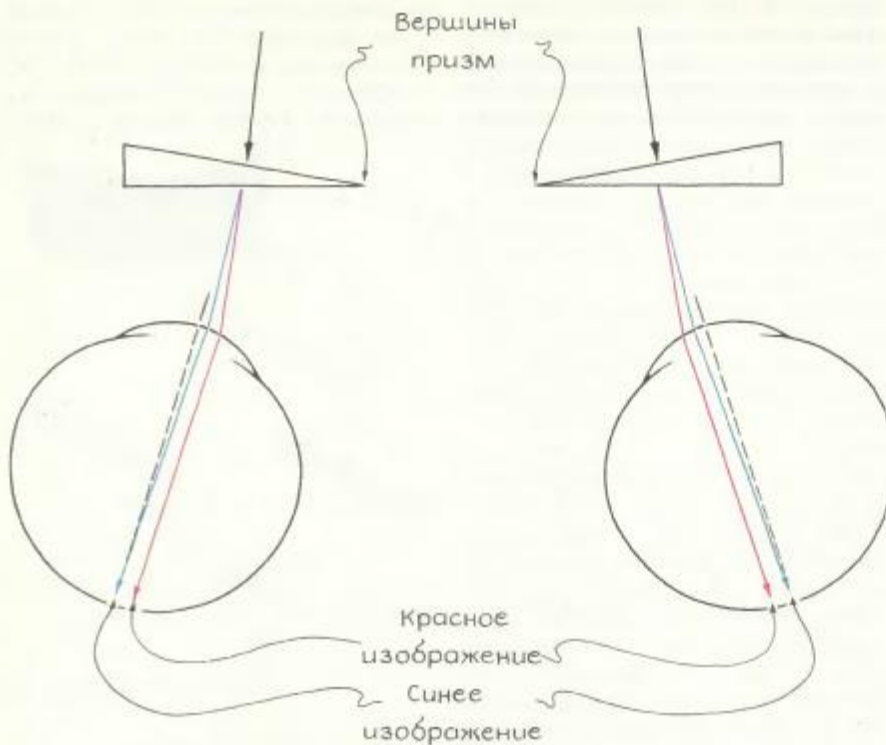
Как возникает иллюзия цветовой стереоскопии



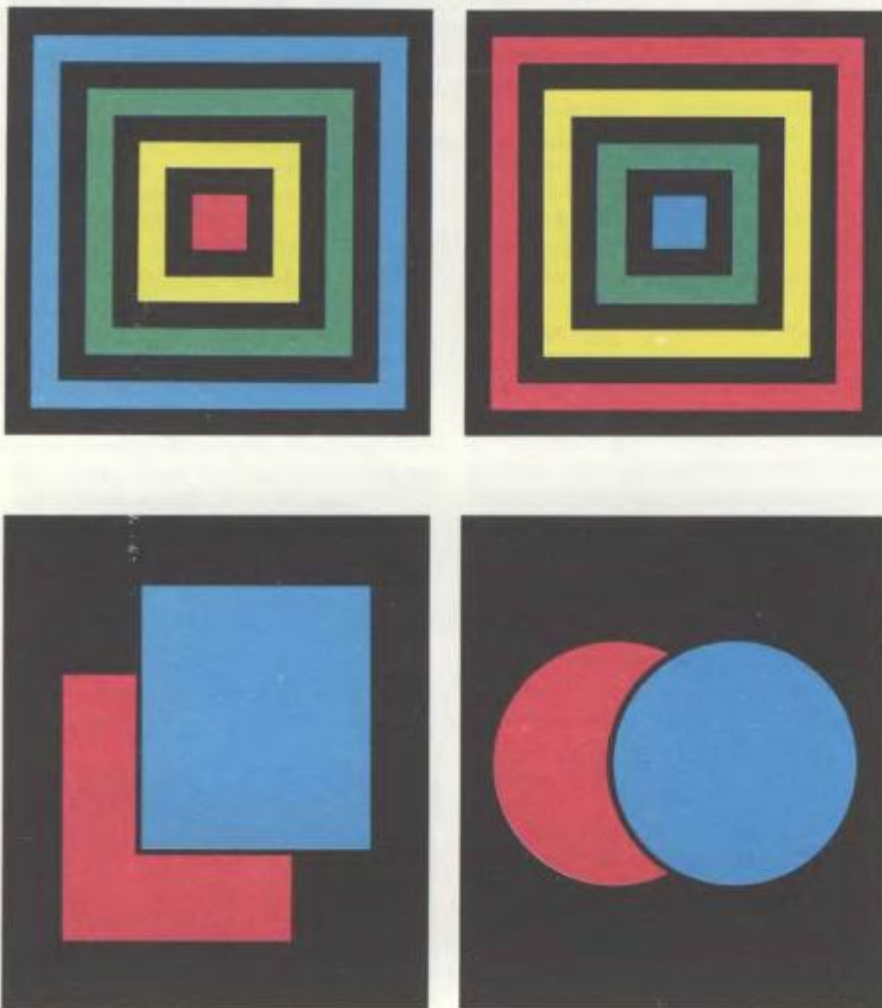
Опыты с экранирующей карточкой



Как создать иллюзию цветного окаймления



Иллюзия глубины пространства, создаваемая с помощью призм



Узоры, которые несут в себе признаки картинности

няется на обратную.

Наличие отверстия создает и другую иллюзию. Смотрите через отверстие и, не сводя взора с кружков, двигайте карточку от виска к носу и обратно как можно быстрее. Расстояние между кружками в плоскости карточки будет изменяться, становясь наименьшим, когда отверстие находится ближе всего к носу, и наибольшим, когда оно находится ближе всего к виску. Увеличение дисперсии у виска возникает вследствие отклонения оси зрения от оси симметрии, проходящей через хрусталик.

Кишто показал также, как дисперсия света может привести к появлению цветного окаймления небольшого белого пятна, нарисованного на темном фоне, если пятно рассматривается через отверстие. Я повторил эти опыты, закрасив маленький белый прямоугольник на черной карточке. Когда я расположил отверстие ближе к виску, то с этой стороны у белого прямоугольника появилась голубая кайма, а со стороны носа — красная. Когда я переместил отверстие ближе к носу, цвета поменялись.

Белый свет от пятна, входя в глаз, разлагается на лучи разных цветов. В центре сетчатки, однако, луч одного цвета, идущий от одной точки пятна, складывается с лучами других цветов, идущих от других точек, так что результирующий свет оказывается белым. Поэтому цветную кайму вы видите только на левом и правом краях прямоугольного пятна.

В нескольких других опытах, описанных Кишто, наблюдатели рассматривали равноудаленные цветные пятна через стеклянные призмы, предназначенные для увеличения дисперсии света. Когда вершины призм были обращены к вискам, наблюдатель должен был уменьшать конвергенцию глаз, для того чтобы видеть пятна. В этой ситуации красное пятно казалось лежащим ближе, чем синее. Когда же вершины призм были направлены к носу, ситуация менялась на обратную.

Иллюзия глубины была наиболее полной, когда пятна занимали в поле зрения область, равную примерно одному угловому градусу, и отстояли друг от друга на угловое расстояние от одной четверти до половины градуса. В отдельных случаях наблюдатель видел набор из четырех пятен разных цветов. При некоторых расположениях цветных пятен внутренние углы пятен казались загнутыми вверх или вниз относительно плоскостей внешних углов. Иллюзия глубины картины на более удаленных внешних углах была слабее. Дж. Ходич из Мемориального университета

в пров. Ньюфаундленд предложил раскрашивать контурные карты магнитного поля Земли (т. е. кодировать их цветом). Если рассматривать такие карты через увеличительное стекло, относительная напряженность поля будет представлена кажущейся глубиной цветных линий. Использование линзы фактически эквивалентно первому опыту Кишто с призмой.

В опытах другого типа наблюдатели рассматривали узоры из цветных и черных полосок, имеющие признаки картинности. В одном случае узор состоял из цветных квадратов, порядок расположения которых (от центрального квадрата наружу) был следующим: красный, желтый, зеленый и синий. Если смотреть на такой узор обоими глазами через призмы, обращенные вершинами навстречу друг другу, или одним глазом через булавоочное отверстие, находящееся перед глазом ближе к носу, узор напомина-

ет уходящий вдаль коридор. Если порядок цветов изменен на обратный, мы видим вытянутую нам навстречу гармошку.

У черно-белого узора признаки глубины оказываются неоднозначными. Лично я могу представлять его и в виде коридора, и в виде гармошки. Располагая же дополнительными признаками глубины, создаваемыми порядком цветов, мы оказываемся «привязанными» лишь к одной возможности восприятия. Взяв другой узор (см. нижний рисунок на с. 94), мы увидим, что один из признаков картинности — заслонение одного предмета другим — настолько силен, что явление цветовой стереоскопии не может повлиять на восприятие глубины. Попробуйте придумать другие узоры, где бы признаки картинности усиливали или ослабляли иллюзию глубины пространства, создаваемую окраской соседних предметов.

висимое влияние на местоположение новых колоний.

В своем предположении, что узнавание родственников у асцидий опосредуется генами гистосовместимости, Гросберг и Куинн исходили отчасти из того, что, как известно, узнавание на основе генов гистосовместимости — вообще весьма эффективный способ идентификации родственников. В генофонде асцидий (как и у многих видов) число аллелей, т. е. вариантов, генов гистосовместимости огромно и очень маловероятно, что в случайном скоплении неродственных особей окажутся одинаковые аллели.

Чтобы изучить влияние генов гистосовместимости на узнавание родственников у *B. schlosseri*, исследователи помешали личинок с известными аллелями генов гистосовместимости в чашки Петри, где находились колонии, для которых аллели генов гистосовместимости и родственные отношения с подсаживаемыми личинками тоже были известны. В некоторых опытах колонии были близкородственны подсаживаемым личинкам, но личинок предварительно выращивали так, что они имели иные аллели генов гистосовместимости. В такой ситуации независимо от родства с колонией те личинки, которые имели одинаковые с ней аллели генов гистосовместимости, селились ближе к колонии, чем личинки с другими аллелями этих генов. Иначе говоря, родство само по себе не имеет значения для поселения личинок, а значит, вполне вероятно, что гены гистосовместимости играют ключевую роль в узнавании родственников и группировании особей у *B. schlosseri*.

Эти данные — хорошее дополнение к результатам, полученным ранее в опытах на мышах. Мыши способны распознавать индивидуумов с разными генами гистосовместимости. Они предпочитают спариваться с особями, имеющими несходные с их собственными аллели генов гистосовместимости, что, по-видимому, позволяет мышам избегать инбридинга. (См. статью: Г. Бичем, К. Ямазаки, Э. Бойз. Распознавание генетической индивидуальности с помощью обоняния, «В мире науки», 1985, № 9.) Гросберг и Куинн полагают, что такой механизм узнавания особей действует у многих других организмов. Как они считают, разумно думать (хотя фактических оснований для этого нет), что идентификация особей на основе генов гистосовместимости играет роль в распознавании родственников и, следовательно, в кооперации особей и у подвижных социальных позвоночных, таких как суслики и луговые собачки.

Наука и общество

Родственные узы

ГЕНЫ гистосовместимости, управляющие способностью организма отличать «свое» от «чужого», определяют реакцию отторжения пересаженной чужеродной ткани и имеют большое значение в противодействии инфекции. Недавно установлены факты, свидетельствующие о том, что у различных видов животных гены гистосовместимости, возможно, играют роль в узнавании особями своих родственников. Последние из такого рода данных получены Р. Гросбергом и Дж. Куинном из Калифорнийского университета в Дейвисе: из их результатов следует, что гены гистосовместимости, по всей вероятности, определяют узнавание родственных особей у планктонной личинки асцидии *Botryllus schlosseri*.

На первом этапе исследований было показано, что личинки *B. schlosseri* действительно способны отличать своих родственников от прочих особей того же вида. Этот вид, как и ряд других морских беспозвоночных, образует колонии. Личинка *B. schlosseri*, возникшая путем полового раз-

множения, покидает мешковидную оболочку родительской колонии и, отплыв на какое-то расстояние, прикрепляется к камню или иной твердой поверхности, после чего претерпевает метаморфоз и превращается в неподвижную форму, называемую зооидом. Зооид размножается бесполом путем — почкованием, и в результате образуется колония генетически идентичных особей. Исследователи взяли оплодотворенную колонию, потомки которой должны были нести легко выявляемый генетический маркер, поместили эту колонию в центр диска из асбестоцемента, диск опустили в море и через какое-то время, достаточное для того, чтобы появились личинки, отметили на нем положение всех новых колоний *B. schlosseri*. Оказалось, что личинки — потомки исходной колонии, т. е. родственники, поселились ближе друг другу, чем к неродственным личинкам, попавшим на диск из окружающей воды. Применяя математические методы, Гросберг и Куинн доказали, что группировка особей определялась не только общей тенденцией оставаться вблизи исходной колонии, но и узнаванием родственников, которое имело неза-

Занимательный компьютер

Игра «Звездный бой» для домашних компьютеров

А. К. ДЬЮДНИ

В НАЧАЛЕ 70-х годов я часто засиживался до позднего вечера в своем университетском кабинете в надежде на то, что студенты уже не будут отвлекать меня от работы. К моему несчастью, в расположенной рядом по коридору исследовательской лаборатории по машинной графике почти постоянно задерживались студенты, проводившие вечера за своей излюбленной игрой, называвшейся тогда по-разному: то «Звездный бой», то «Космическая война». «Стреляй! Скорее! Попал, попал! — то и дело доносились возгласы увлеченных игроков через плотно закрытую дверь моего кабинета. — Берегись, ракеты!» Этот шум не давал мне сосредоточиться. И, оказавшись не в состоянии работать, я обычно присоединялся к играющим. Или иногда, полный твердой решимости вернуться к более серьезным занятиям после небольшого развлечения, я отправлялся в соседнюю лабораторию понаблюдать за игрой.

Игра «Звездный бой» в какой-то мере была основана на сюжете популярного многосерийного телевизионного фильма под таким же названием. Игра повторяет эпизоды боя между космическим кораблем «Энтерпрайз» и крейсером вооруженных сил клингов. Поклонники этой телевизионной программы, наверное, помнят, что «Энтерпрайз» совершил путешествие в ту область Вселенной, где люди еще никогда не бывали. Это путешествие совершалось под флагом союза сотрудничавших цивилизаций, называемого Федерацией. Главенствующую роль в союзе играла человеческая раса. Клинги были представителями звероподобной волосатой расы, соперничавшей с Федерацией в борьбе за господство над Млечным Путем, а может быть, и над всей Вселенной.

Хотя первоначально игра «Звездный бой» могла выполняться лишь на мощном компьютере, оснащенный специальными графическими средствами, сейчас аналогичную программу вполне можно написать и для персонального компьютера. Два космических корабля описывают орбитальные траектории вокруг звезды, находящейся в центре, стреляя друг по другу ракетами и пытаясь в свою оче-

редь уклониться от ракет противника. Как сами корабли, так и ракеты, которыми они обстреливают друг друга, подвержены гравитационному притяжению, и, таким образом, законы орбитального движения в значительной мере определяют характер игры. Пилоты, не обладающие достаточным интуитивным чутьем к законам небесной механики, либо сжигают свои корабли, неосторожно приблизившись к Солнцу, либо, не сумев маневрировать, пересекают обманчивые траектории смертоносных ракет. Сторона, космический корабль которой взрывается первым, считается проигравшей.

Было время, когда различные версии игры «Звездный бой» распространились на сотни университетов и других учреждений. Официально это не одобрялось, но втайне все получали от игры много удовольствия. Хотя эта игра так часто мешала мне работать, теперь, через много лет я вспоминаю о ней с очень теплым чувством. «Звездный бой» — это лишь одна из многих увлекательных игр, созданных студентами. Большинство таких игр быстро превращались в законченные пакеты программ, представлявшие собой уже коммерческий продукт. По-видимому, игры внесли значительный вклад в ту революцию, которая произошла в области домашних компьютеров. Версии игры «Звездный бой» поступили в широкую продажу лишь сравнительно недавно, хотя в «подпольном» виде они кочевали уже давно.

Версия «Звездного боя», описанная в настоящей статье, вернет читателя к тем временам, когда появились первые компьютерные игры, окруженные атмосферой таинства и романтики. На ее примере я смогу посвятить читателя в секреты, без которых не обойтись при программировании игр. Прежде всего нужно стараться поддерживать непрерывное движение на экране. Поэтому вычисления в программе, реализующей игру «Звездный бой», должны быть как можно проще и выполняться как можно быстрее. С этой проблемой мы уже сталкивались в статье, посвященной программам, имитирующим полет (см.: «В мире науки», 1986, № 9, с. 92).

К счастью, мир «Звездного боя» намного проще той детальной цифровой географии, которая должна раскрываться перед пилотом, сидящим за клавиатурой.

Вторая цель, стоящая перед программистом, заключается в том, чтобы создать реалистическую гравитационную среду. С этой проблемой читатели также уже сталкивались, правда, в несколько другой форме. В мартовском номере журнала рассказывалось об искусственной вселенной, за эволюцией которой можно наблюдать, сидя в кресле перед своим домашним компьютером. Звезды, населяющие этот мир, кружат причудливый хоровод, движимые силами их взаимного притяжения. Траектории кораблей и ракет в игре «Звездный бой» управляются более простым гравитационным влиянием. Лишь Солнце, находящееся в центре, оказывает ощутимое гравитационное воздействие.

Чтобы вступить в орбитальную дуэль, двое играющих усаживаются перед клавиатурой компьютера и нажимают на клавиши, специально отведенные в программе для управления кораблями. Один из играющих (по-видимому, более волосатый) принимает командование кораблем клингов, другому вверяется судьба корабля Федерации. Вначале на экране видны лишь Солнце, расположенное в центре, и два космических корабля. Солнце изображено в виде маленького диска, а корабли — крошечными символами, размеры которых достаточны лишь для того, чтобы отличить «своего» от «чужого».

В начале игры оба корабля находятся в состоянии свободного падения по направлению к Солнцу. Игроки немедленно меняют курс, стремясь уйти с траектории, ведущей к светилу, и включают ракетные двигатели кораблей, чтобы вывести их на безопасные орбиты. Корабль, коснувшийся Солнца, немедленно испаряется, и игра, конечно, оказывается проигранной.

Как только корабли выходят на заданные орбиты, каждый игрок начинает попытки уничтожить своего противника. Один из крайних тактических замыслов заключается в том, чтобы выждать, пока корабль противника не окажется поблизости. Тогда быстрым залпом его можно уничтожить. Другой крайний замысел, пожалуй, похитрее: можно попытаться произвести прицельные выстрелы с противоположной от Солнца стороны. На экране от ведущего огонь корабля отделяются яркие световые точки (в телевизионной программе называвшиеся фотонными

торпедами) и прожигают траектории вокруг Солнца в виде плавно закру- гляющихся смертоносных линий. Если кораблем противника управляет пилот, не обладающий высочайшим мастерством, корабль наверняка попадет под удар одной из выпущенных по нему ракет и, взорвавшись, разлетится на осколки, подобные звездной пыли. На экране это событие мгновенно знаменуется облаком светящихся точек и крупной надписью: ПОБЕДУ ОДЕРЖАЛА ФЕДЕРАЦИЯ или ПОБЕДИЛИ ВООРУЖЕННЫЕ СИЛЫ КЛИНГОВ.

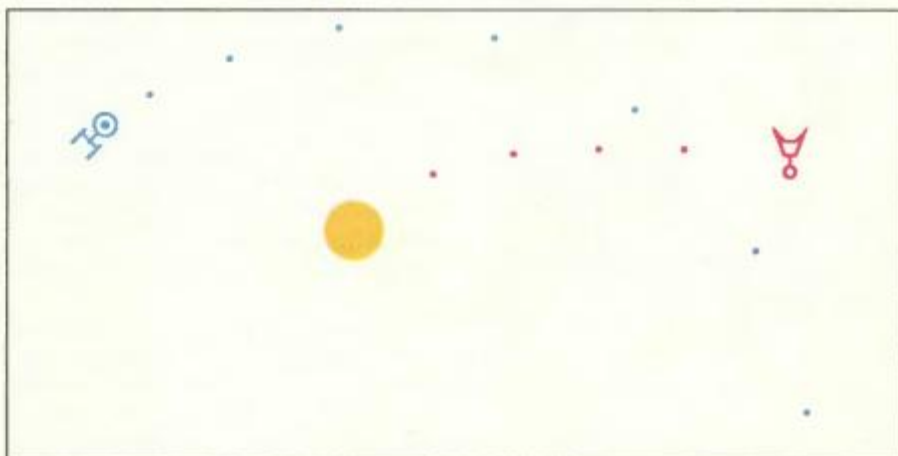
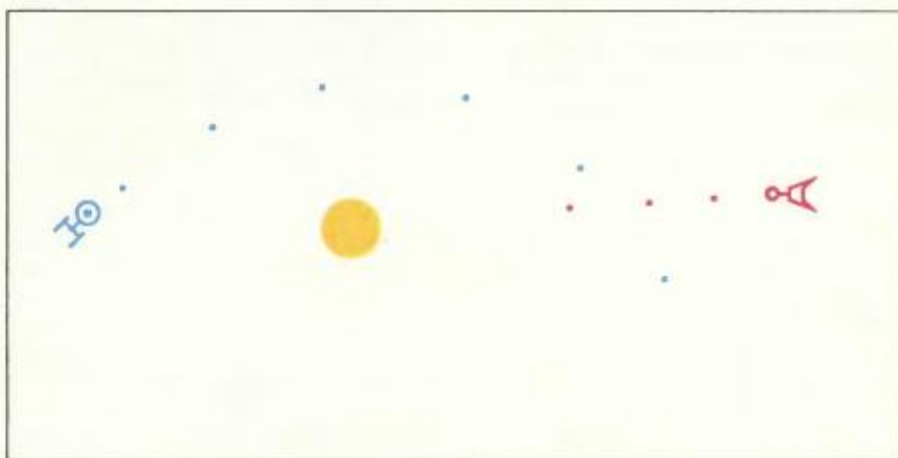
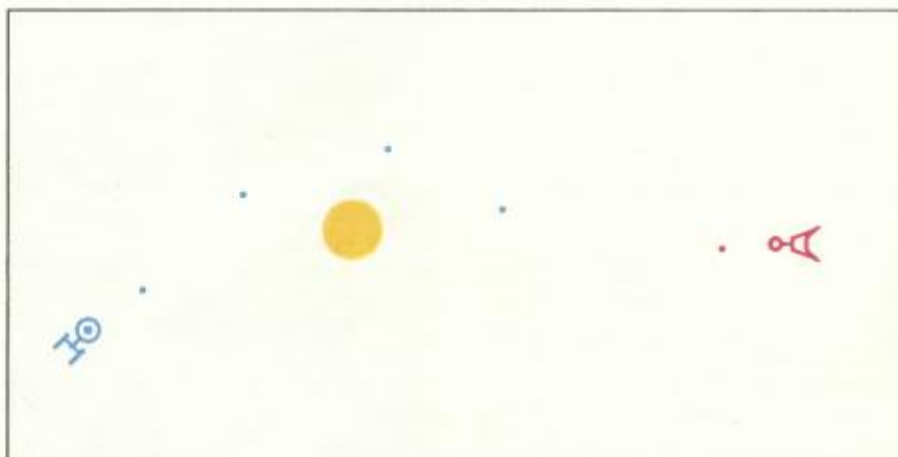
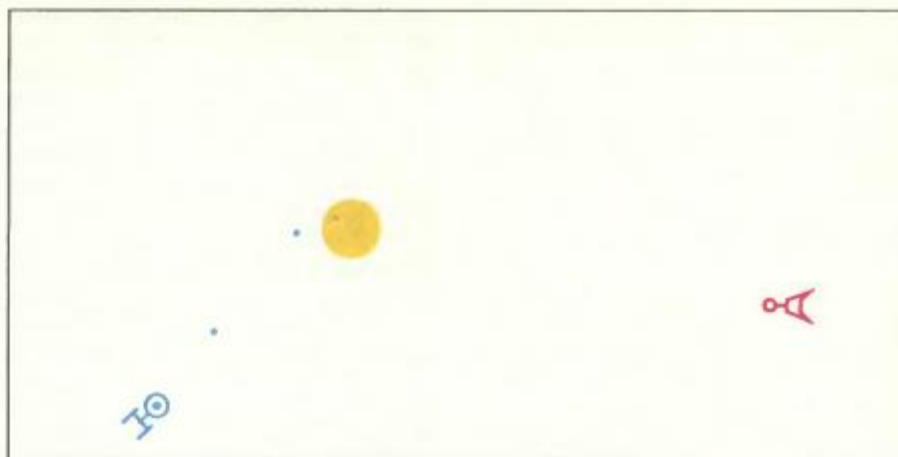
Поскольку боевые действия вблизи Солнца обычно очень интенсивны, осторожные игроки предпочитают держаться на более далеких орбитах. Основной недостаток подобной стратегии состоит в том, что возникает потребность в перезарядке солнечных элементов питания (системы управления кораблем питаются от солнечных батарей). Когда запасы электроэнергии исчерпываются, корабль должен немедленно приблизиться к Солнцу и пополнить энергетические запасы. На удаленных орбитах фотонный поток слаб и корабль подвергается риску потерять управление.

В игре есть еще одна тонкость, о которой следует помнить, находясь на удаленных от Солнца орбитах. Дело в том, что боевое пространство «Звездного боя» как бы «тороидально». Другими словами, если корабль подходит слишком близко к краю экрана, он исчезает и появляется на противоположной его стороне.

Каждый корабль обладает неограниченным запасом ракет, но в каждый данный момент в полете может находиться не более 10 из них. Ракета подчиняется тем же физическим законам, что и корабли. Она остается активной до тех пор, пока не поразит корабль (возможно, даже и свой), либо пока у нее не кончится горючее. Таковы правила игры.

Программа, которую я назову TREK (босвой марш), будет, наверное, самой крупной из тех, что когда-либо рассматривались в статьях рубрики «Занимательный компьютер», и, возможно, не столько из-за своей сложности, сколько из-за масштабов. Поэтому некоторые более или менее стандартные процедуры мы рассмотрим лишь кратко, в общих чертах. Тем не менее программисты-новички, в особенности те, у кого есть возможность проконсультироваться у опытных специалистов, могут попытаться написать собственную программу с надеждой на успех.

Программа TREK циклически проходит через шесть основных секций до тех пор, пока оба корабля существ-



«Энтерпрайз» и крейсер клингов обстреливают друг друга ракетами

вуют:

Опрос клавиш

Корректировка положения кораблей и ракет

Проверка на столкновения

Изменение энергетических ресурсов кораблей

Управление ракетами

Вывод изображения на экран

Многие читатели найдут программу TREK сравнительно несложной, может быть, за исключением первой секции. Для некоторых такая процедура, как опрос клавиш, будет в новинку, однако при программировании игр без нее, пожалуй, не обойтись. В большинстве языков высокого уровня имеются специальные операторы, позволяющие проверить, была ли нажата та или иная клавиша.

Например, в языке Бейсик версии Microsoft соответствующий оператор выглядит следующим образом:

```
On key (k) gosub n.
```

После того как выполняется команда On key, программа, перед тем как выполнять каждый следующий оператор, проверяет, не была ли нажата клавиша *k*. Если была, то управление в программе переходит на первый оператор в строке под номером *n*. В этой строке начинается подпрограмма, назначение которой заключается в том, чтобы зафиксировать каким-то образом тот факт, что клавиша *k* была нажата. Обычно это делается пу-

тем присвоения определенного значения переменной, играющей роль «флажка». На клавиатуре персонального компьютера IBM имеется 14 клавиш, которые можно опросить указанным способом: 10 функциональных клавиш и четыре клавиши управления курсором. Каждому игроку нужно отвести по четыре клавиши, скажем функциональные клавиши *F1*, *F2*, *F3* и *F4* для корабля Федерации и четыре клавиши управления курсором для корабля клингов. Числа, соответствующие первым четырем клавишам, — от 1 до 4, а другим четырем — от 11 до 14. Здесь нужно посмотреть коды клавиш в руководстве по программированию на том или ином компьютере.

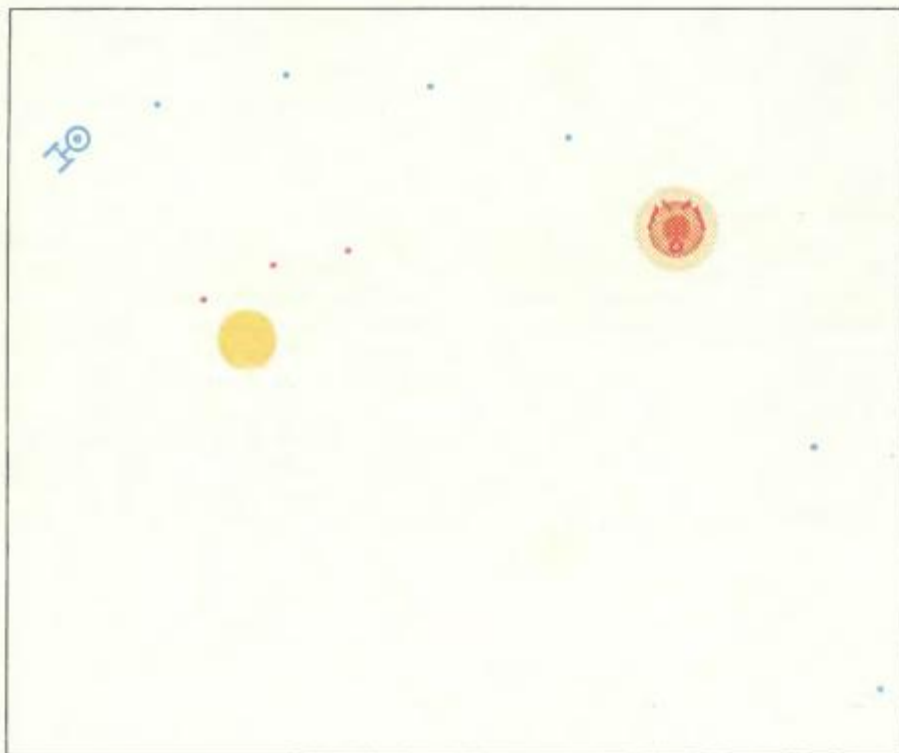
Для каждой стороны первая из выделенных ей клавиш управляет мощностью двигателя, две следующие служат для изменения направления и последняя — для стрельбы ракетами. Клавиша двигателя сообщает кораблю фиксированный импульс мощности, действующий в течение одного программного цикла. Каждое нажатие на клавишу направления поворачивает соответствующий корабль на угол, равный 10° . При нажатии на клавишу стрельбы корабль выпускает один снаряд. Прежде чем начать игру, советуем наклеить на клавиши маленькие квадратики с обозначениями их функций. Они будут напоминать игроющим назначение каждой клавиши.

В программе должно быть по одному оператору On key для каждой из восьми клавиш управления. Оператор On key не выполняется, если ему не предшествует оператор Key(*k*) op. Все процедуры, к которым обращается программа по каждой команде On key, очень просты и в сущности одинаковы. Каждая такая процедура состоит из двух операторов. Первый оператор присваивает переменной-флажку значение 1 для последующего анализа в ходе выполнения программы, а второй оператор возвращает управление на то место в программе, откуда произошло обращение к данной процедуре по команде On key. Переменные-флажки для управления «Энтерпрайзом», можно, например, назвать *fdgo*, *fdrt*, *fdll* и *fdfr*. Эти названия означают соответственно «Федерация вперед» (Federation go) — включение двигателя, «Федерация вправо» (Federation right), «Федерация влево» (Federation left) — эти повороты делаются соответственно по и против часовой стрелки — и «Федерация огонь» (Federation fire) — старт боевой ракеты. Аналогично для крейсера клингов переменные *kngo*, *knrt*, *knll* и *knfr* соответственно регистрируют нажатие клавиш импульса, направления и стрельбы.

После того как процедура присваивает переменной-флажку значение 1, в состоянии одного из кораблей происходит изменение. Например, в случае если *fdgo* становится равной 1, секция программы, управляющая положением кораблей, создает небольшое дополнительное ускорение (в пределах между 2 и 5, кому как нравится) в движении корабля «Энтерпрайз». Затем программа должна сбросить флажок в 0.

Управлять положением двух космических кораблей и несколькими ракетами значительно проще, чем смоделировать движение такого же числа массивных звезд. Суммарная масса боевой техники пренебрежимо мала по сравнению с массой расположенного в центре системы Солнца, поэтому взаимным гравитационным притяжением, действующим между кораблями и ракетами, мы пренебрегаем. По заданному расстоянию от каждого объекта до Солнца программа TREK вычисляет ускорение этого объекта, обусловленное радиально направленной силой притяжения, по этому ускорению вычисляется изменение скорости объекта и, наконец, его перемещение.

Даже при таком в принципе простом характере вычислений они отнимают значительное количество машинного времени. Для выполнения этих вычислений требуются операции



Корабль клингов не смог уйти от огня

ритель, превышает ли это расстояние радиус Солнца, скажем, 10 единиц. Если один из кораблей коснулся светила, программа выводит на экран соответствующее сообщение, например: **КЛИНГИ ИСПАРИЛИСЬ**. Затем управление передается секции изображения на экране очередной картинке.

В ходе второй проверки на контакт нужно определить, не находится ли какой-нибудь снаряд в пределах порогового маленького расстояния до одного из космических кораблей. Здесь используется простой, но эффективный прием: сначала вычисляется разность между значениями координат снаряда и корабля по оси x , затем по оси y , после чего эти две разности складываются, и таким образом мы избегаем операций возведения в квадрат и извлечения квадратного корня; результат почти не отличается от вычисленного обычным способом. Если сумма двух разностей оказывается меньше, скажем, 4, то программа фиксирует попадание. На экране появляется сообщение, например такое: **ЭНТЕРПРАЙЗ ПОРАЖЕН РАКЕТОЙ. КЛИНГИ ОДЕРЖАЛИ ПОБЕДУ**. Проверка для всех выпущенных на данный момент ракет производится в одном цикле. Его индекс пробегает значения от 3 до *misnum*, т. е. до числа ракет плюс 2.

Чтобы изменить запасы энергии, которыми располагают корабли, программа делит значение ускорения, обусловленного притяжением к Солнцу и получаемого из таблицы, на 60. Поскольку величина ускорения растет при приближении к Солнцу, корабль получает больше энергии благодаря более интенсивному потоку солнечных фотонов. Получаемая энергия прибавляется затем к энергетической переменной *fdfl* или *knfl* в зависимости от того, для какого корабля проводятся вычисления. Каждая из этих переменных уменьшается на 0,1 при нажатии на клавишу двигателя. Это уменьшение производится в секции корректировки положения. Считается, что корабль исчерпал свои запасы энергии, когда в его баке остается меньше одной единицы солнечного топлива. Вначале в баке каждого корабля имеется по 10 единиц топлива.

Управление боевыми ракетами осуществляется с помощью специального массива *time* (время, хранящего число программных циклов, в которых выражается «возраст» каждой ракеты. Когда число циклов достигает 25, соответствующая ракета выводится из массива *pos*, счетчик сбрасывается на 0 и значение переменной *misnum* уменьшается на 1. Удалить ракету из *pos* можно двумя способа-

ми. Первый способ легче реализовать в программе, но он замедляет темп игры. В этом случае программа пробегает массив, начиная со значения индекса, соответствующего удаляемой ракете, и уменьшает номер строки каждого элемента на 1. Таким образом, последний передвигаемый элемент имеет индекс *misnum*. Он перемещается на строку с номером *misnum* - 1. Та же самая операция выполняется над массивами *vel* и *time*.

Более быстрый способ основан на учете индекса ракеты, который тем меньше, чем старше ракета, поскольку она была раньше добавлена к списку. Поэтому можно следить за ракетами, не передвигая их индексов. Ракеты, возраст которых достиг 25 программных циклов, должны находиться в начале последовательно расположенных ракет в каждом массиве, и только они подлежат удалению. Аналогичным образом, новые ракеты всегда добавляются в конец последовательности.

Введем две новые переменные *old* (старый) и *new* (новый), которые будут служить в качестве указателей на самую старую и самую новую ракету в каждом массиве. По мере того как одни снаряды удаляются, а другие добавляются к спискам, изменению подвергаются лишь значения *old* и *new*. В таком случае можно воспользоваться арифметическими действиями, выполняемыми по модулю, и тем самым поддерживать циклическое перемещение ракет по массивам. Когда нужно добавить новую ракету при значении индекса, равном 23, программа берет индекс по модулю 23, получает 0 и прибавляет к нему число 3, чтобы не подменить координаты космического корабля координатами одной из ракет. Значения *old* и *new* подвергаются той же самой операции. Такая структура данных называется круговой очередью. Если мы решили воспользоваться этим приемом, то секция программы, вычисляющая коррекции положения, должна быть модифицирована: каждый цикл нужно разбить на два меньших цикла, один для кораблей и другой для ракет.

Когда играющий нажимает клавишу стрельбы, программа сначала проверяет, сколько снарядов активны на данный момент у данной стороны. Если их насчитывается меньше 10, то анализируются значения переменных флажков *fdfr* и *knfr*. Если, например, *fdfr* равна 1, то программа прибавляет 1 к количеству ракет на стороне Федерации, увеличивает на 1 значение *misnum* и затем помещает координаты положения и скорости корабля «Энтерпрайз» в соответствующие элементы массивов *pos* и *vel*. При

этом к координатам положения прибавляется по 4 единицы и по 2 к координатам скорости. Эти увеличения происходят в том направлении, в котором корабль движется в данный момент. Например, горизонтальная координата ракеты, выпускаемой «Энтерпрайзом», равна учетверенному косинусу угла *fdor* плюс текущая горизонтальная координата положения корабля в данный момент; для вертикальной координаты мы берем соответственно учетверенное значение синуса *fdor*. Таким образом, сразу после запуска ракета уже достаточно удалена от своего корабля, иначе он был бы мгновенно уничтожен своей собственной фотонной торпедой. Аналогичная процедура применяется к координатам скорости снаряда. Это означает, что в момент запуска скорость ракеты относительно корабля составляет две единицы на один временной цикл. Другими словами, скорость снаряда на две единицы больше, чем у запустившего его корабля.

Последняя из числа основных секций программы TREK изображает на экране Солнце, два корабля и все активные к данному моменту ракеты. Программа рисует круг радиусом 10 единиц в центральной части экрана и затем просматривает массив *pos*. Корабли Федерации и клингов представлены маленькими символическими изображениями. Одно из этих изображений по существу представляет собой кружок (в фильме «Энтерпрайз» имел форму диска с двумя слегка выступающими двигателями). Корабль клингов имеет угловатую форму. Читатели могут сами выбрать символы для представления на экране кораблей, учитывая, чтобы принадлежность корабля и направление его движения можно было определить с первого взгляда. При изображении на экране символов обоих кораблей программа TREK пользуется специальными списками точек, по которым строится изображение и которые можно переносить и подвергать поворотам, моделируя тем самым изменения в положении и ориентации кораблей. Для выполнения этих операций программа обращается к массиву *pos* и переменным *fdor* и *knor*.

С ракетами дело обстоит проще: каждая изображается на экране в виде точки. Это происходит в ходе выполнения одного цикла при последовательном просмотре массива *pos*.

Использование программы TREK сопряжено с некоторым неудобством, возникающим в связи с конструктивными особенностями большинства переменных дисплеев. Дело в том, что экраны этих дисплеев работают в режиме запоминания изобра-

жения: объект, однажды «нарисованный» на экране, остается на нем продолжительное время. Чтобы избежать загромождения экрана «остатками» изображений кораблей и ракет из предшествующих стадий игры, программа должна рисовать каждый объект дважды. Сначала она рисует его на старой позиции черным, а затем изображает его на новой позиции светлым.

Остальные подробности реализации игры я оставляю ее будущим энтузиастам, «треккерам». Несмотря на некоторые хитрости, при помощи которых удается ускорить программу, вы все же можете остаться неудовлетворенными темпом игры. Возможно, по этой причине вы назовете свою программу не TREK, а TRAKTOR. Чтобы попытаться ускорить работу программы, попробуйте ее откомпилировать или наложите более жесткие ограничения на число активных боевых ракет, разрешенных для каждой стороны.

Я описал здесь лишь основную, так сказать, скелетную версию игры «Звездный бой». Существуют и более замысловатые версии, их число растет и они также получают распространение. Появились варианты игры с тремя и более кораблями, лазерными пушками, цветным изображением и подсветкой текущих показателей игры. Я должен выразить признательность Дж. Гроффу из Клирвatera (шт. Флорида), напомнившего мне об этой классической игре, родившейся в подполье, и познакомившему меня с версией игры, в которой поведение клингов автоматизировано. Люди, пытающиеся отстаивать честь Федерации, все время терпят поражение в борьбе с программой Гроффа.

Ну что же, я предлагаю читателям, которым удастся создать собственные работающие версии «Звездного боя», рассказать в своих письмах о стратегиях и остроумных решениях, благодаря которым они добивались ускорения действия. О лучших результатах я расскажу в одной из следующих статей.

АБСОЛЮТНОЕ большинство писем, присланных читателями в ответ на статью о компьютерной магии (см.: «В мире науки», 1986, № 10), содержали ответы на вопрос, поставленный в этой статье, но объяснение было опубликовано уже в следующем номере. Вопрос был о том, каким образом факир, располагая лишь карманным калькулятором, мог «прочитать» мысли человека? Объяснение заключалось в том, что любое число, составленное из цифр, расположенных на одной из линий клавиатуры

калькулятора, делится на 3. Я не буду еще раз подробно останавливаться на этом трюке, но хотел бы обратить внимание читателей на то, что обычно в статьях нашей рубрики ставятся вопросы двух типов и между ними существует одно принципиальное различие.

Вопросы первого типа требуют небольшого размышления. Ответы на такие вопросы публикуются в следующем номере журнала. При постановке вопроса автор предупреждает читателей, что ответ будет опубликован задолго до того, как придут первые отклики.

Вопросы второго типа требуют более солидной проработки. Как правило, чтобы ответить на них, необходимо воспользоваться компьютером, и при постановке таких вопросов автор просит читателя присылать ответы. На размышления предоставляется достаточно много времени. Если письмо выслано через две-три недели после публикации статьи, то у него имеются хорошие шансы попасть на мой стол, прежде чем обзор читательских писем отправится в печать. Обычно такой обзор появляется через три месяца после выхода статьи.

К. Фалвес из Тинека (шт. Нью-Джерси) предложил еще один вариант трюка с калькулятором. Как и прежде, факир просит добровольца из публики выбрать два числа из цифр, лежащих на одной линии клавиатуры калькулятора, и перемножить их, воспользовавшись калькулятором. В предложенном мною варианте доброволец не должен был называть одну из цифр произведения, а факиру нужно было «угадать» ее путем выбрасывания девятки. Несколько более занятным выглядит этот фокус, если доброволец из публики называет все цифры, но при этом добавляет возраст своей собачки или кошечки. Если возраст животного не превышает 9 лет, то факир может легко его подсчитать: «Мадам, духи поведали мне, что вашему Рексику пять лет».

Р. Малленикс, инженер, работающий в фирме Georgia Power Company в Валдосте (шт. Джорджия), рассказал мне о своем коротком, но поучительном приключении с программой PREDICTABIT, которая должна предсказывать следующий бит, называемый человеком. После сравнительно длинной цепочки нулей и единиц частота правильных предсказаний должна повышаться. Это объясняется тем, что в подсознании человека, пытающегося выбрать цифры совершенно случайно, все же существуют некоторые уловимые закономерности. Малленикс добился сравнительно скромного успеха, играя с

приятелем. Программа показывала результаты, точность которых была близка к 60%. Однако, когда приятель понял, как работает программа, он начал называть цифры, пользуясь разложением числа π . Число случаев правильного предсказания снизилось до 43%. Ну что же, я предупреждал читателей. Клиентов следует выбирать в среде доверчивых людей, кроме того, их нужно постоянно отвлекать какой-нибудь болтовней так, чтобы они не успевали задуматься.

Издательство МИР предлагает:

Дж. Уэстон
ТЕХНИКА
СВЕРХВЫСОКОГО
ВАКУУМА

Перевод с английского
В книге специалиста из Великобритании рассмотрены вопросы теории и практики сверхвысокого вакуума. Представлены сведения о материалах, используемых в условиях вакуума, средствах получения и сохранения высоких степеней разряжения и способах измерения давлений. Описаны методы контроля герметичности. Рассмотрены некоторые модели новейшего научного и промышленного оборудования.

Для специалистов в области вакуумной техники, а также для широкого круга экспериментаторов, работающих в смежных областях техники и использующих вакуум в своей практической деятельности.

Из рецензии академика А. И. Шальникова: «Существенной особенностью книги Дж. Уэстона является то, что в ней рассмотрены практически все аспекты проблемы получения ультравысокого вакуума, интересующее широкий круг читателей».

1988, 25 л. Цена 2 р. 20 к.



История числа; язык обезьян; жизнь блох; по поводу рецензии Л. Тёроу

ФИЛИП MORRISON

Жорж Ифра. От единицы до нуля: всеобщая история числа

FROM ONE TO ZERO: A UNIVERSAL HISTORY OF NUMBERS, by Georges Ifrah. Translated by Lowell Bair. Viking Penguin Inc. (\$ 35)

АВТОР КНИГИ считает, что письмо было изобретено «хозяйственниками», или экономами, которым приходилось иметь дело с предметами, столь многочисленными и разнообразными, что их названия невозможно было удержать в памяти.

Время действия — 50 веков назад, место действия — города Урук в Древнем Шумере на Евфрате и Сузы в Эламе, к востоку от Тигра. Первые из известных нам документов — это глиняные таблички. Покуда глина была мягкой, заостренной палочкой на них наносились знаки. Среди этих записей мы видим пиктограммы финиковой пальмы и бараньих ног вместе со знаками, служившими для обозначения чисел. Знакомимся мы и с прародителем этой «бухгалтерской книги»: приблизительно за два столетия до того существовали глиняные «конверты», напоминающие по форме и размеру теннисный мяч. Такой «конверт» содержал набор небольших глиняных фигурок, предшественниками которых, судя по всему, были счетные камешки. (В книге приводится рентгеновский снимок одного из таких образцов, хранящегося в Лувре.) Эти фигурки служили для обозначения цифр: так, небольшой шарик символизировал «десять». Печать на внешней стороне «конверта» подтверждала подлинность документа.

За последнее десятилетие многочисленные французские экспедиции и отдельные исследователи шаг за шагом проследили зарождение цифрового письма и его последовательное развитие на протяжении нескольких столетий. Сперва «конверт» сам стал документом: его «цифровое содержание» дублировалось в виде знаков на наружной стороне, поэтому разрушать «конверт» было необязательно. Затем он превратился в испещренные знаками счетные таблички, текст ко-

торых также скреплялся печатью. В Уруке между 3200 и 3100 гг. до н.э. появился новый тип табличек, на которые знаки наносились с помощью печаток. Эти печатки иногда объединяли в себе числовые символы, предшественниками которых были фигурки, служившие для счета, с новыми символами для обозначения считаемых предметов. Подчас эти символы весьма реалистичны, например фигурка птицы, а иногда совершенно абстрактны, например перечеркнутый кружок означал овцу. Хотя письменность уже появилась, она еще была далека от полноты настоящего письменного языка: экономы должны были «экономными».

Любопытнейшая иллюстрация воспроизводит то, что позволило расшифровать шумерские цифровые знаки: писцы имели обыкновение записывать общую сумму на обратной стороне таблички. Изображенная на иллюстрации табличка представляет собой список товаров, в числе которых 15 мешков ячменя, 30 мешков пшеницы и т. п. Общая сумма была записана на обратной стороне глиняного «листа» и составляла 145 мешков. Множество подобных табличек давали уникальный материал для расшифровки.

Эта интереснейшая книга, написанная талантливым и увлеченным своей темой преподавателем математики (к тому же и полиглотом) из Франции, содержит 30 глав, охватывающих всю историю систем счисления, как наших, так и наших предшественников, так и не наших предшественников письменного выражения. Пытаясь проследить историю происхождения цифр, автор приводит некоторые из них в своем собственном написании: единый почерк помогает выявить элементы сходства, однако при этом знаки, принятые для обозначения чисел в различных языках, к сожалению, теряют свою индивидуальность.

Можно сказать, что вся история числа представляет собой постепенный переход от простого повтора к сложившейся позднее системе. Хорошо известны факты соответствия чисел и частей тела: это не только 10 пальцев, к которым восходят все из-

вестные системы счисления (за исключением машинных языков), но и способы счета, использовавшиеся, скажем, в районе Торресова пролива, где локти, колени, бедра и т. п. служили наглядным представлением чисел вплоть до 33. Таблица названий первых десяти чисел на двух десятках индоевропейских языков, от санскритского *dvi* и *tri* до исландского *veir* и *prig*, выдает их родство. Эти слова сохранили лишь одно значение — численное, но кто знает, может быть и они когда-то обозначали части тела?

Основание системы счисления — величайшее изобретение древних. Роль анатомии в его рождении очевидна. Однако остается неясным происхождение основания 60. Оно используется для измерения времени и при вычислении углов, которое по нашим представлениям впервые стали производить вавилонцы и их предшественники шумеры. Вместе со вспомогательным основанием 10 оно упростило запись чисел. Ведь если число 10 звалось «у», а 60 — «геш», вполне естественно записывать 600 как «геш-у».

Но почему именно 60? Гипотезам (ныне устаревшим), пытавшимся дать ответ на этот вопрос, Ифра посвящает целую страницу. Греческий автор Теон впервые предложил объяснение, которым удовлетворялись многие поколения математиков: 60 — уникальное число по количеству делителей. Другое предположение, выдвинутое в 1904 г., состоит в том, что два народа, один из которых пользовался шестеричной, а другой — десятичной системой счисления, объединившись, создали основание 60. Еще один аргумент основывался на том, что вавилонскому часу (двенадцатой доле суток) соответствует дуга, в 60 раз большая углового диаметра Солнца.

Кантор, основатель теории множеств, полагал, что причину следует искать в округленном значении длительности года — 360, и уже впоследствии простота гексагонального деления круга, при котором хорда равняется радиусу, «помогла» числу 60 прочно укрепиться в качестве основания. Однако, подвергшись критике оппонентов, утверждавших, что не следует связывать систему счисления ни с астрономией, ни с геометрией, Кантор отказался от своих аргументов. Сегодня, зная, что некогда в Китае делили окружность не на 360, а на $365 \frac{1}{4}$ градусов, мы не можем не пожалеть, что Кантор так легко сдался. По всей видимости, в далекой древности мало кому, кроме астрономов, приходилось оперировать большими числами. Уже на первых табличках

используется стандартная смешанная шумерская система с основанием как 10, так и 60.

Вавилонским экономам мы обязаны первой системой записи чисел, в которой место цифры указывает на порядок величины (позиционная система счисления), а также введением нуля. Числа в их «бухгалтерских книгах» записаны уже в шестидесятеричной системе, в которой за основание принято число 60, хотя все числительные — это простые комбинации из знаков для обозначения 1 и 10 (например, 32 записывается тремя знаками для 10 и двумя для 1). Чтобы написать 610, на месте шестидесяти нужно было поставить обозначение 10 и такой же знак на месте единиц. Здесь писцу приходилось особенно аккуратно наносить знаки: слишком близко поставленные, они выглядели бы, как 20. Потребовалось еще около 1000 лет для усовершенствования техники записи чисел: необходимый пробел стали заполнять специальным знаком разделения, обычно использовавшимся в двуязычных текстах для пометки перехода от одного языка к другому. В «бухгалтерских книгах» этот знак использовался лишь для обозначения нуля в середине числа (но не в начале и не в конце).

Остается неясным, подразумевался ли под этим знаком абстрактный ноль, скажем, результат разности 20 минус 20. Авторы некоторых текстов прибегают взамен к более конкретной формулировке, например «зерно кончилось». Такова предыстория нашего нуля, появление которого относят к IV в. до н.э.

Цифры современной десятичной системы носят название арабских, поскольку европейцы заимствовали их у арабов. Однако, по всей вероятности, их родина — южная Индия. Они встречаются во множестве индийских документов, относящихся к VI—IX вв. В этих документах уже используется десятичная система записи числа с ее простыми и удобными в написании цифрами (некоторые из них, хотя и не все, можно узнать и сейчас). Так что арабские цифры, «этот единственный универсальный язык нашего времени», ведут свое происхождение из Индии, хотя не исключено, что сама система счисления заимствовала кое-что из древнего Вавилона. Последнее остается неясным: возможно, что вся система — целиком индийское изобретение, а предшественником ее были обычные счета.

Автор уделяет большое внимание документальным свидетельствам и различным гипотезам. Сама идея знака, обозначающего ничто, затронула

воображение европейцев, словно в нем было заключено нечто магическое. Отголосок этой таинственности мы до сих пор слышим в слове «шифр», которое восходит к арабскому *siġr* — «пустота».

Книга отличается полнотой и ясностью изложения, кроме того, она содержит немало еще не разгаданных головоломок с цифрами и знаками, которые бросают вызов любителям подобных задач.

Дэвид Премак. «ГАВАГАЙ!» ИЛИ БУДУЩАЯ ИСТОРИЯ ДИСКУССИИ О ЯЗЫКЕ ЖИВОТНЫХ

GAVAGAI! OR THE FUTURE HISTORY OF THE ANIMAL LANGUAGE CONTROVERSY, by David Premack. The MIT Press (\$ 12.50)

ОРИГИНАЛЬНАЯ и захватывающая, эта небольшая книжка доставляет удовольствие в равной мере и формой и содержанием. Стремясь найти аналитический ответ в рамках затянувшейся дискуссии, автор создал истинное произведение искусства. При благоприятном стечении обстоятельств форма, избранная автором, может быть взята на вооружение и в других областях знания. Однако мало найдется исследователей, которые обладали бы одновременно остроумием, эрудицией, выразительным стилем и глубокими познаниями, а всем этим отличается Дэвид Премак — экспериментатор из Калифорнии, вот уже 20 лет старающийся проникнуть в тайны рассудочной деятельности обезьян.

Лишь введение (и одна таблица данных) обращены в прошлое и посвящены разбору — весьма благодушному! — сути самых жарких споров. Премак и его коллеги усмотрели «логически последовательную образную компетентность» у шимпанзе, которых они учили выбирать и нужным образом располагать многочисленные пластиковые жетоны — заместители слов. Описание этих результатов было встречено крайне скептически. По мнению критиков, животные действовали не самостоятельно, а под влиянием скрытых социальных стимулов, которые давали им, сами того не желая, экспериментаторы. Ответ на это возражение, который мы находим в книге, отличается методической безупречностью и корректностью формулировки. Контрольные опыты, учитывающие возможность таких стимулов, привели к тем же результатам. Более того, намеренно введенные явные социальные стимулы часто игнорировались. Ни один из оппонентов не ставил под сомнение адекватность специфического контро-

ля и не утверждал, что такой контроль невозможен. Тем не менее разразились яростные споры. Казалось, что на карту поставлена уникальность человека; повестка дня была открыта.

Остальная, большая часть книги обращена в будущее: к исследованиям на других видах животных, к новейшим результатам экспериментов с человекообразными обезьянами, к неформальному и критическому обзору основ межвидовой лингвистики. Изложение материала часто принимает форму мысленных экспериментов, которые читатель найдет одновременно изящными и поучительными. В центре одного из этих экспериментов — загадочное слово, вынесенное в заглавие книги.

Слово «гавагай» изобретено поколением назад философом и логиком У. Квайном для придуманного им мысленного эксперимента. Это имеющее какой-то смысл высказывание совершенно чуждого существа на абсолютно неизвестном языке слышит лингвист и хочет его перевести. Он предполагает, что услышанное звуко-сочетание представляет собой одно слово и пытается понять его значение, с помощью различных намеков определяя позицию собеседника — его согласие или несогласие. Если слово «гавагай» всегда произносится, когда рядом находится кролик, и не произносится в присутствии собаки или лягушки, значит ли это, что его следует переводить как «кролик»? А может, оно означает всего-навсего какие-то части черепа кролика или вообще любые части кроличьего тела? Или же собирательное название всех кроликов? Ведь такие понятия возникают с появлением любого конкретного кролика и исчезают в его отсутствие. Квайн пытался с помощью этого примера показать, что невербальные тесты не могут выявить смысловых нюансов.

Исследования детей, не владеющих речью, развиты уже настолько, что позволяют проверить идею постоянства объекта. Подобным же образом можно проверить и концепцию «гавагай» с помощью, допустим, забавного мультфильма, в котором летящие в космическом пространстве кроличьи фигурки распаляются на части, а затем вновь соединяются, но уже по-иному, чем раньше. Большинство взрослых такая лента наверняка заставит улыбнуться и даже рассмеяться. Однако детям она может показаться страшноватой. Ведь мы, люди, воспринимаем живого кролика как постоянное целое. Но если словом «гавагай» обозначать части тела, а не самого кролика, подобный мульт-

фильм становится триумфом, вовсе не смешным.

Мир велик, и его можно изучать разными способами. В науке утверждения вообще нелегко переходят в уверенность, не говоря уж о переводах невесты с какого языка. В отсутствиях прямой информации о внутреннем состоянии психология и перевод становятся, безусловно, трудным делом. Существенно ли это? Премак считает, что нет. Он разрабатывает изощренные способы опроса без помощи слов. Возможно, в один прекрасный день появится количественная шкала, но читатель склонен допустить, что значение лингвистических тестов не следует а priori уменьшать; возможно, в контексте новых знаний они будут выглядеть иначе.

Разве рекурсия — это ключ к языку человека? Представьте затронувшую мозг мутацию, которая позволяет осуществить идею дискретной бесконечности — концепцию, связывающую понятие числа с врожденной человеческой способностью создавать бесконечно меняющиеся цепочки слов. (Эта мысль заимствована из неопубликованного высказывания Ноама Чомски — ученого, неизменно заставляющего задумываться над своими идеями.) У шимпанзе были возможности продемонстрировать нам мастерство рекурсии, но пока что они этого не сделали. Один из описываемых в книге опытов особенно интересен: в полевых условиях экспериментаторы прячут кусочки фруктов, в то время как обезьяны наблюдают за их действиями. Затем животным дозволяется найти (по памяти, конечно) и взять себе лакомство. Их передвижения оказались экономичными: обезьяны редко шли по своим же следам более одного раза. Но, увы, маршруты можно было описать при помощи простого итеративного алгоритма: предмет, расположенный ближе, следовало посетить в первую очередь, и так повторялось снова и снова. Рекурсии не было.

Одна мысль пронизывает все это удивительное и откровенное описание людей и мнений. Она состоит в том, что язык, разговорный или символический, представляет собой лишь внешнее воплощение богатого разнообразия внутренних состояний. Чисто человеческая специализация — это, по-видимому, социальная коммуникация. И все-таки существует множество других социальных возможностей — «диспозиций», как говорит Премак, — которые могут связывать людей едва ли не теснее, чем наша характерная коммуникативная особенность.

«Педагогика, эстетика, познание, социальные нормы, самопознание, так же как и язык, являются некоторыми из основных человеческих отличительных черт. Чтобы преуспеть в понимании *Homo sapiens*, мы должны отказаться от слепого увлечения языком и перестать читать и писать книги, подобные этой». Люди, пишущие исторические исследования, обычно приходят к выводу, что цивилизация начинается с письменности; люди, занимающиеся изучением языка, часто заключают, что человеческий интеллект носит по существу лингвистический характер. Окончательное исследование природы человеческой сущности еще впереди.

Мириам Ротшильд, Иосиф Шлейн, Сусумо Ито. АТЛАС ТКАНЕЙ НАСЕКОМЫХ НА ПРИМЕРЕ БЛОХИ

A COLOUR ATLAS OF INSECT TISSUES VIA THE FLEA, by Miriam Rothschild Yosef Schlein and Susumo Ito. A Wolfe Science Book, published in the U.S. in association with Methuen, Inc., 29 West 35 Street, New York, N.Y. 10001 (\$ 79.95)

ВОЗМОЖНО, изучение блох и не входит в число насущных проблем человечества, но трое увлеченных биологов — авторы «Атласа» — вряд ли согласятся с этим. Большинство из 260 помещенных в книгу фотографий представляют собой сделанные с помощью светового микроскопа изображения великолепно окрашенных серийных срезов блох десятка различных видов. Эти иллюстрации призваны представить строение внутренних органов и тканей насекомых — их морфологию, гистологию и ультраструктуру. Книга предназначена как студентам, изучающим насекомых — переносчиков болезней, так и тем, кто начинает заниматься широким кругом проблем, связанных с биологией насекомых. Она включает тщательно отобранные данные, которым авторы придают «огромное значение».

Вполне можно считать, говорят нам авторы, что большинство существующих видов животных являются, по сути, в той или иной мере паразитическими. Этого утверждения достаточно, чтобы обойтись без введения к строению насекомых. Всякий, даже совершенно неподготовленный читатель с удовольствием проведет время, разглядывая помещенные в книгу фотографии, хотя представленные на них всевозможные органы и ткани блох — здесь и антенны, и слюнные железы, и глаза, мелкопористая оболочка яиц — не так уж про-

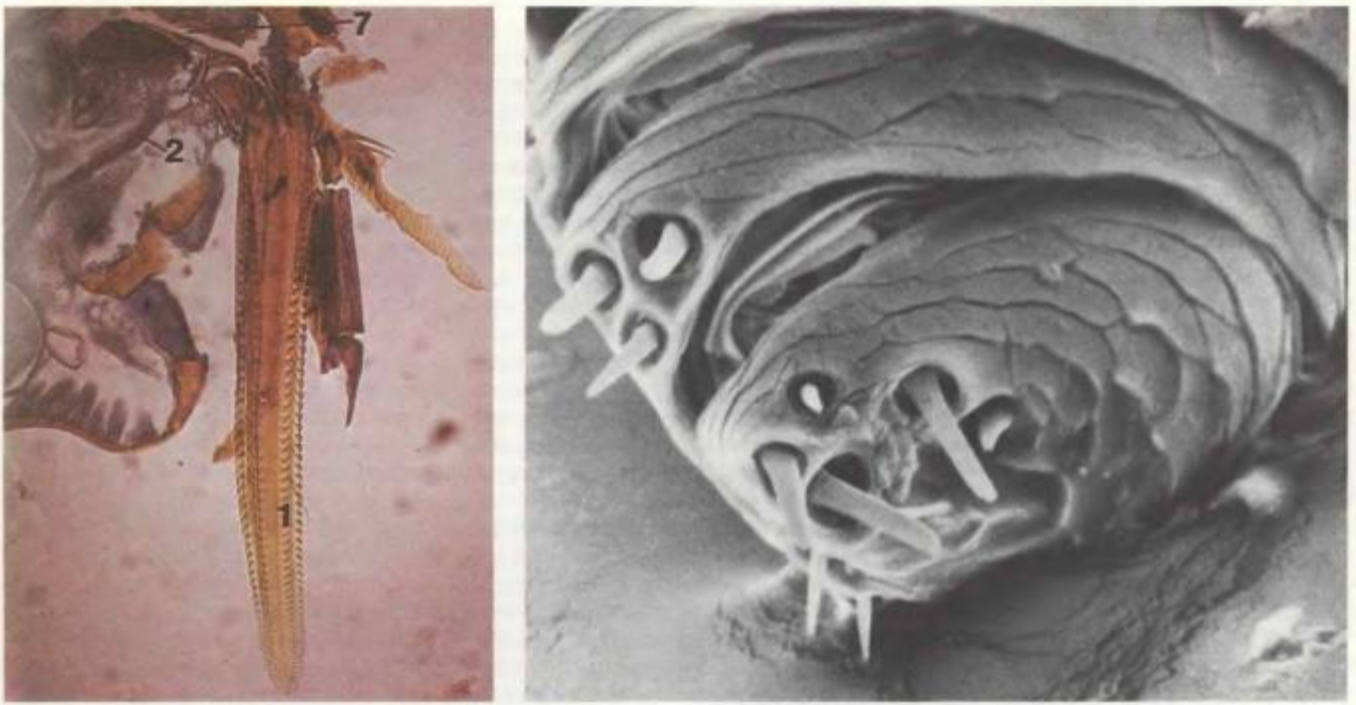
сты для восприятия, пусть даже с точки зрения авторов они «поистине элементарны». Вспомогательные рисунки снабжены содержательными подписями, а фотографии аккуратно размечены.

На одной из страниц мы видим несколько изображений прыгающей блохи крупным планом. На рисунках воспроизводятся пять кинокадров, следующих друг за другом с интервалом примерно в 1/3 миллисекунды, первый из которых сделан в момент начала этого движения. Отталкиваясь с ускорением 150 g, блоха опирается не на свои слабые лапки, а на специальную опорную площадку, расположенную на бедре. Такой чудовищный рывок обеспечивается резким высвобождением энергии, заключенной в каучукоподобном белке резилине, который содержится в специальных «энергонакопительных» подушечках. Эта структура показана на нескольких микрофотографиях.

В книге помещены микрофотографии, сделанные при разных увеличениях с помощью как просвечивающего, так и сканирующего микроскопа; например, изображения сперматозоидов и яиц блох. На нескольких снимках показаны некоторые важные структуры других насекомых, не встречающиеся у блох: большие сложные глаза, упорядоченная ультраструктура мощных летательных мышц, чешуйки крыла бабочки.

Будучи паразитологами, авторы не упустили возможности представить блох с их паразитами — более мелкими тварями, «живущими за их счет». Это и крошечные клещи, обитающие около яйцевода, и «клубки» червей, буквально забивающих кишечник, и жгутиковые, вызывающие тяжелые поражения внутренних органов, и внутриклеточные бактериоподобные организмы — риккетсии. В мозгу у блох иногда находят цисты червей; из-за них замедляется проведение нервных импульсов и зараженную блоху легче поймать, так что такие черви-паразиты в итоге приносят пользу позвоночным, на которых паразитируют сами блохи.

Последняя фотография может вызвать сострадание: на ней показан кишечник паразитирующей на бурундуке блохи, совершенно заполненный массой палочковидных бактерий чумы — единственной болезни, одинаково поражающей и блох, и крыс, и людей. Все это до известной степени соответствует остроумной картине бесконечности, созданной Джонатаном Свифтом. Правда, цепочка паразитов в данном случае недостаточно длинная, на бактериях уже никто больше, по-видимому, не паразитирует.



ИЛЛЮСТРАЦИИ из «Атласа тканей насекомых на примере блохи»: строение ротового аппарата (слева) и верхушка антенны (справа) у блохи *Spilopsyllus cuniculi*

Червь, «терзающий» блоху, сам может быть поражен клещом, в свою очередь зараженным жгутиковыми, в клетках которых живет болезнетворный вирус. Получается нечто вроде живой китайской шкатулки, состоящей из пяти вложенных друг в друга затейливых ящичков (наподобие русской матрешки), в котором каждый в отдельности уже удивителен. (Конечно, логическое *ad infinitum* Свифта отпадает, так как существуют атомы.)

В сентябрьском номере «Сайентифик Америки» (№ 11 «В мире науки». — Ред.) была помещена рецензия Лестера Тёрю, профессора экономики и проблем управления в Массачусетском технологическом институте, на книгу "The Positive Sum Strategy" («Стратегия положительной суммы»). Редакторы книги — Ральф Ландау, профессор-консультант по вопросам экономики при Станфордском университете и Натан Розенберг — профессор экономики в том же университете — высказывают свое мнение по поводу рецензии Тёрю.

МЫ СЧИТАЕМ разумным неписаное правило, согласно которому авторы книги не вступают в дискуссию со своими рецензентами. И тем не менее в данном случае мы решили

отступить от этого правила. По нашему мнению, 41 глава книги «Стратегия положительной суммы» охватывает самые важные проблемы, стоящие перед современной американской экономикой. Мы считаем, что успешная политика заключается в том, чтобы сконцентрировать усилия на попытке дать правильный анализ основных недугов нашей экономики. Однако профессор Тёрю представляет точки зрения 43 авторов, участвовавших в написании сборника, таким образом, что у читателя создается неправильное мнение о том, что же хотели сказать все эти экономисты, бизнесмены, ученые и инженеры. Это тем более странно, что Тёрю во многом разделяет наши взгляды. Области совпадения наших точек зрения настолько велики, что нам не понятна страстность, с которой Тёрю настаивает на своем несогласии с тем, что мы считаем основной темой данной книги. Так, он пишет: «Когда речь заходит о центральной теме, авторы действительно единодушны: технология может быть поставлена на службу повышения уровня жизни при одновременном уменьшении использования трудовых и сырьевых ресурсов, с тем чтобы избежать превращения США в общество «нулевой суммы», в котором увеличение дохода одного человека происходит за счет потерь в доходах другого». Все авторы единодушно считают, что по тем

или иным причинам темп накоплений и уровень капиталовложений в американской экономике неприемлемо низки. По всей вероятности, Тёрю с этим также согласен, поскольку он пишет: «Страны или отрасли промышленности, которые идут на большие капиталовложения, обычно осваивают новые технологии быстрее. США же вкладывают в приобретение нового оборудования меньше капиталовложений по сравнению со своими конкурентами. Очевидно, что им придется увеличить объем таких капиталовложений». Мы рады, что Тёрю поддерживает нас по этим двум вопросам, поскольку они представляют собой два важнейших тезиса «Стратегии положительной суммы». На каком же основании он все-таки утверждает, что «хотя многие из авторов статей, представленных в книге, дают нам примеры истинной проницательности, окончательный «коллективный диагноз», на мой взгляд, нельзя назвать верным»?

Тёрю утверждает, что точки зрения отдельных авторов в основном совпадают. Он приписывает им единодушное мнение, состоящее в том, что экономические проблемы США в основном связаны с вмешательством правительства в экономику страны. Авторы, полагает он, в частности, считают, что слишком медленный рост производительности труда является результатом неспособности за-

ставить рынок в полную меру использовать свои «магические» возможности. Это — несостоятельная карикатура на содержание книги, отразившей на самом деле самые различные взгляды людей с самыми различными уровнями подготовки в деловой сфере, науке и технике. Можно критиковать многие аспекты современной политики правительства и необязательно при этом придерживаться того мнения, что в функционировании рынка нет никаких недостатков. Аргументы Тёроу слишком прямолинейны: он пытается втиснуть взгляды каждого из авторов в прокрустово ложе либо приверженцев свободной конкуренции, либо тех, кто считает любое вмешательство правительства в дела экономики полезным и эффективным. В действительности можно не соглашаться с теми или иными действиями правительства, но необязательно при этом считать, что квинт-эссенция экономической мудрости заключается в том, чтобы «дать полную свободу рыночным силам».

Подход Тёроу к вопросу о выработке экономической политики основан на его устоявшемся взгляде на возможные пути действия. Это никуда не годится, поскольку именно экономист должен задумываться над тем, каковы будут последствия определенных корректив на маргинальном (предельном) уровне. Как изменится состояние экономики в результате незначительного увеличения или уменьшения некоторых показателей? Настоящий экономист должен лишь приветствовать стремление отдельных авторов отразить разнообразные ситуации, характеризующие отдельные секторы экономики, и, как следствие этого, различные подходы правительства по отношению к ним. Тёроу же, вместо того чтобы играть роль объективного рецензента, как бы задает авторам вопрос: «На чьей вы стороне?»

Приведем один пример, свидетельствующий о том, как подобная позиция отразилась на рецензии. В своем стремлении представить вмешательство правительства как положительное явление автор усиленно расхваливает политику «правительственного регулирования» в Японии, считая ее главной причиной экономического успеха в этой стране. Каким бы приверженцем подобной точки зрения ни был сам Тёроу, он тем не менее был обязан хотя бы информировать читателей о том, что автор посвященной этой проблеме статьи — Даниел И. Окимото из Станфордского университета — высказывает как раз противоположную точку зрения. Оценивая роль японского прави-

тельства в развитии промышленности, основанной на современной технологии, проф. Окимото пишет: «Роль правительства в поощрении нововведений далеко не так велика, как это иногда считают... Оно, конечно, может определять, какие виды новой технологии должны развиваться в первую очередь, однако оно не может гарантировать, что частным компаниям удастся извлечь из них прибыль. Правительство может воздвигнуть преграду для защиты новых отраслей промышленности вокруг внутренних рынков против внешних конкурентов. Однако это может иметь и обратное действие, сдерживая стимулы к обновлению. Правительство может направлять субсидии в определенные области «целевых исследований и разработок», это может привести к диспропорциям и потерям в общих капиталовложениях в исследованиях и разработках. Что действительно находится во власти правительства, так это создание обстановки, благоприятной для развития предпринимательства». Сказанное отнюдь не свидетельствует в пользу политики строгого правительственного регулирования и административного руководства, за которые ратует Тёроу.

По всей видимости, Тёроу старается убедить читателя, что вина правительства в спаде американской экономики не так уж велика, и пытается свалить ее на американскую организацию производства. Вот его собственные слова: «Причины этого следует искать не в американском правительстве, а в деятельности американских фирм... Каковы бы ни были другие достоинства американских управляющих, они далеки от мирового класса в том, что касается их способности управлять своим делом».

В наши задачи отнюдь не входит защита американской организации производства от нападок Тёроу. Мы даже готовы согласиться с некоторыми аспектами его критики в отношении способов принятия решений американскими управляющими (к этой критике присоединились и авторы некоторых статей); и мы полностью поддерживаем высказанную им мысль о том, что американцам есть чему поучиться в этом у японцев. Кстати, три последние главы книги посвящены японскому опыту, однако Тёроу по совершенно непонятной причине почти полностью игнорировал их содержание.

Автора рецензии постигла неудача в попытке связать специфику принятия решений американскими управляющими с экономическими условиями в стране (в особенности с макроэконо-

мическими условиями, определяемыми в основном правительством). Когда об этом пишет Тёроу, то создается впечатление, будто американские менеджеры совершают коллективное самоубийство, подобно пеструшкам, которые иногда целыми стаями бросаются в воду, не умея плавать. Не обязательно быть экономическим детерминистом, чтобы отдавать себе отчет в том, что в США существуют мощные экономические силы, формирующие стратегические решения, касающиеся управления американской экономикой. Тёроу не делает никакого намека на то, что это за силы.

В качестве своего основного аргумента Тёроу называет быстрый рост числа менеджеров и соответственное снижение производительности труда в конторах. Он утверждает, что «основные проблемы... кроются именно в средней американской конторе». Однако что же на самом деле явилось причиной значительного увеличения числа служащих за последние 10 лет? Это ключевая проблема в сфере структурных изменений, происходящих в настоящее время в американской экономике. Две главы книги «Стратегия положительной суммы» (написанные С. Роучем из Морган-Стэнли и Дж. Куинном из Дартмута) посвящены различным противоречивым аспектам этой проблемы. Однако Тёроу в полемическом пылу полностью игнорировал мнения этих авторов и свалил всю вину на недостаточную компетентность менеджеров. Совершенно ясно, что причины кроются значительно глубже. Не сталкиваемся ли мы тут с «конкурирующим» процессом, «отсортировывающим» компании, принимающие неудачные решения — например, увеличение без необходимости числа служащих — от компаний, принимающих лишь мудрые решения? Или же сравнение американского управленческого аппарата с «сообществом» пеструшек-самоубийц настолько убедительно, что незачем выдвигать альтернативные гипотезы.

Дело в том, что определенные изменения в структуре американской рабочей силы, по поводу которых так сокрушается Тёроу и которые он считает в основном следствием некомпетентности американских менеджеров, на самом деле представляют собой всего лишь современное выражение тенденции, наметившейся еще в начале XX в. Процентное увеличение служащих в общем объеме рабочей силы ни в коей мере не является (вопреки мнению Тёроу) феноменом сегодняшнего дня. Оно самым тесным образом связано с многоплановыми изменениями в экономике — такими, как изме-

нения в области спроса, технологии, организации бизнеса, промышленной специализации и территориального размещения фирм и хозяйств.

Тёроу, несомненно, прав, утверждая, что уровень производительности труда будет выше, если тот же валовой национальный продукт получат при затрате труда меньшего числа служащих; однако эта тавтология мало что проясняет. Гораздо важнее было бы выяснить, чем вызван рост числа служащих и почему он не связан непосредственно с ускорением роста валового национального продукта. Называть в качестве основной причины управленческую некомпетентность — значит упрощать очень глубокие и сложные экономические процессы.

Возлагая вину за низкую производительность на плохую организацию труда, Тёроу полностью игнорирует одну из самых существенных социальных перемен в США, происшедших после второй мировой войны. Мы имеем в виду резкие изменения демографической ситуации, включающие в себя такие явления, как скачок рождаемости, неуклонный рост числа работающих женщин и мощный приток иммигрантов. За тридцатилетний период (с 1955 по 1985 г.) американская экономика сумела адаптироваться к этому существенному пополнению рабочей силы, создав свыше 45 млн. новых рабочих мест. (Для сравнения скажем, что страны Общего рынка за то же время создали всего 5 млн. новых рабочих мест.) Это было крупным достижением, но и плата была высока: вполне естественно, что стремительный рост общих показателей и снижение качества, вызванное притоком неквалифицированных кадров, отрицательно сказались на производительности труда. Кроме того, большая часть «новичков» поступила в сферу обслуживания, в особенности в те ее секторы, которые допускают увеличение персонала с меньшей затратой капитала и менее строгими требованиями в отношении квалификации, чем в других областях экономики. Довольно трудно обсуждать проблему низкой производительности труда и быстрого роста занятости в сфере обслуживания в течение последних 30 лет без учета этих важных экономических условий, однако Тёроу как раз их и не учитывает. Он просто сетует по поводу «низкого качества рабочей силы» без всяких ссылок на вышеупомянутые изменения.

Лишь немногие экономисты будут отрицать тот факт, что правительственная политика в области расходов и налогообложения имеет прямое отношение к высоким процентным ставкам и низкому уровню нормы на-

копления, преобладающим в последние годы в американской экономике. Высокие процентные ставки являются одним из важнейших факторов снижения уровня капиталовложений в бизнес и ориентации менеджеров на «сиюминутные» прибыли. Не обязательно обращаться к сложной таблице процентов, чтобы понять, почему именно двухзначные процентные ставки приводят к уменьшению объема долгосрочных капиталовложений, возрастанию роли квартальных отчетов и немедленной оплаты, за что американские менеджеры так часто подвергаются критике. Известно, что японские бизнесмены отказываются от «сиюминутной» прибыли, однако на это есть важные экономические причины, такие как более высокие, чем в США, нормы накопления и соответственно другая стоимость капитала. Хотя мы и не отрицаем, что большая степень участия в управлении может дать дополнительные преимущества, большая разница в стоимости и наличии капитала (тема, которой посвящена последняя часть книги) заслуживает хотя бы упоминания.

Сам Тёроу признает, что недостаточные вложения капитала американским бизнесом действительно представляют собой серьезную экономическую проблему. Такое признание прямо указывает на важную роль государственной системы налогообложения, постоянно поощряющей потребление в противовес сбережению, и бюджетной политики правительства с дефицитом федеральных средств, что опять же ведет к росту процентных ставок. Непонятно, как при обсуждении современного состояния американской экономики, с ее огромным торговым дефицитом и искусственно завышенным курсом доллара, можно игнорировать эту проблему или отрицать ее важность.

В равной мере трудно понять, почему Тёроу, сравнивая нынешнее состояние американской экономики с более благоприятным ее состоянием после второй мировой войны, ничего не говорит об особых условиях, в которых она в то время находилась, таких как вызванное войной ослабление ее конкурентов в Европе и Японии. Административные решения никогда не принимаются в отрыве от конкретных условий и задача экономистов состоит (или по крайней мере должна состоять) в том, чтобы показать, каково же влияние общеэкономических условий на формирование этих изменений. Не исключено, однако, что объективный анализ ситуации покажет, что причина наших экономических трудностей кроется в экономи-

ческой политике правительства, а отнюдь не в некомпетентности менеджеров.

Мы считаем, что наша книга открывает серьезную дискуссию, затрагивающую множество важных проблем, связанных с внедрением новых технологий в целях ускорения экономического развития. Мы надеемся, что читатель почерпнет из нее много нового и полезного для себя. Одно из наших основных утверждений заключается в том, что недостаток знаний в области микроэкономики технологических изменений требуют дополнительных интенсивных исследований на уровне дезагрегации макроэкономических показателей. Именно с этой целью мы пригласили такой широкий круг экономистов, инженеров, ученых и руководящих работников фирм принять участие в написании книги. Нам хотелось представить разнообразие точки зрения, отражающие неодинаковые потребности и ситуации, сложившиеся в различных секторах экономики.

Однако, несмотря на разнообразие точек зрения, все авторы считают, что для непрерывного увеличения темпов роста необходимы следующие условия: увеличение затрат на исследования и разработки, дальнейшее улучшение качества рабочей силы (в результате обучения и улучшения профессиональной подготовки), а также ускорение роста отношения капитал/труд. Быть может, самое обнадеживающее мнение высказали такие выдающиеся ученые, как У. Бэйкер, бывший президент фирмы Bell Laboratories и Дж. Уотсон, директор лаборатории Cold Spring Harbor. Они считают, что мы скоро станем свидетелями рождения новых технологий, которые откроют широкие возможности для дальнейшего роста производительности труда в будущем. Однако, для того чтобы реализовать эти возможности, необходимы существенные изменения стратегии как в частном, так и в государственном секторе экономики.

СОИ: быть или не быть

СТРАТЕГИЧЕСКАЯ оборонная инициатива (СОИ) выставляется рейгановской администрацией как научно-исследовательская программа, которая разработана якобы для того, чтобы определить, осуществима ли в принципе защита от баллистических ракет. Это безобидное определение противоречит тому факту, что управление министерства обороны, уполномоченное распределять средства на связанные с СОИ исследовательские и проектные работы, — так называемая Организация СОИ (ОСОИ) — уже выделило 6 млрд. долл. и запросило о выделении еще 37 млрд. долл. на ближайшие пять лет. В результате СОИ станет самой быстроскоростной затеей правительства, и, возмож-

но, самой крупной программой по разработке военной системы из всех когда-либо существовавших. Приведет ли ее реализация к созданию эффективного средства защиты, пока не ясно. Судя по масштабам финансирования (особенно на стадии производства, когда будет истрачено не менее 1 триллиона долл.), СОИ — это больше чем просто военная программа; фактически это национальная промышленная программа. В связи с этим возникает другой вопрос, не менее важный, чем осуществимость и надежность СОИ, а именно: отвечает ли программа СОИ коренным интересам американской экономики?

Сторонники СОИ считают, что столь обширная по масштабам исследовательских и проектных работ программа — это как раз то, что нужно

стране, чтобы придать промышленности новый импульс. По их мнению, солидные инвестиции в исследования, проводимые промышленными фирмами, правительственными лабораториями и университетами, будут служить гарантией того, что США сохранят свое лидирующее положение в науке и технике. Гражданская промышленность сможет применить военные разработки и получить немалые прибыли. Исследование, проведенное компанией Business Communications Co., Inc., результаты которого сторонники СОИ используют в своих пропагандистских целях, показывает, что в течение следующих 40 лет общий объем поставок продукции, которая будет произведена на основе заимствования связанных с СОИ разработок, составит 20 триллионов долл. В своих расчетах исследователи, конечно, исходили из того, что работы в этой области будут вестись в полном масштабе и завершатся созданием оборонной системы.

В настоящее время из фонда программы СОИ промышленным компаниям, особенно тем, которые рассчитывают на получение основной доли прибыли от заказов министерства обороны, выделяются значительные средства на проведение исследовательских и проектных работ. (Более 75% из всех уже размещенных контрактов по СОИ приходится на два десятка крупнейших частных оборонных фирм.) Наибольшие доходы в рамках любой военной программы фирмы-подрядчики получают после того, как принято решение о производстве разработанной системы. Поэтому ясно, что оборонные компании финансировали предвыборные кампании тех кандидатов в конгресс, которые будут поддерживать субсидирование СОИ.

Исследование, проведенное Советом по экономическому приоритету (СЭП), независимой исследовательской организацией, занимающейся изучением общественных отношений, показывает, что 19 крупнейших компаний, выполняющих работы по программе СОИ (главным образом тех, которые производят аэрокосмическую технику и электронное оборудование), вложили почти 6 млн. долл. в различные политические комитеты. Эти совершенно законные вклады компаний оборонной промышленности, как указывает СЭП, направляются «комитетчикам» — кандидатам, занимающим такие посты, которые позволяют им влиять на комиссии конгресса, ответственные за выработку решений по вопросам обороны, или кандидатам, чьи избиратели в силу своего служебного положения за-



УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ лазерным лучом разработано компанией Hughes Aircraft в рамках исследований по программе СОИ. Оно предназначено для сопровождения объектов в полете и фокусировки мощного лазерного луча (генерируемого другим устройством) на выбранных целях. Хотя это устройство имеет военное назначение, разработанная для него технология, как утверждают сторонники СОИ, может найти применение и в гражданской промышленности.

висят от фирм, выполняющих военные заказы.

Хотя СОИ может быть и выгодно двум десяткам самых крупных фирм, выполняющих военные заказы, многие обозреватели считают, что для экономики США в целом эта программа не сулит ничего хорошего. Бывший президент компании Exxon Research and Engineering Co., Э. Дейвид-младший, указывает на пагубное влияние, которое «мегапроект» типа СОИ может оказать на состояние исследовательских и проектных работ в стране. Он, в частности, говорит, что «технологический стиль» проектов столь большого масштаба должен отвлекать ученых и инженеров от менее масштабных исследований и разработок в таких областях частного сектора экономики, как производство средств производства и товаров промышленного назначения. Как утверждает Дейвид, США нуждаются именно в таких небольших по масштабу, «земных» разработках, для того чтобы их экономическое положение на мировом рынке улучшилось.

По мнению Дейвида, исследования, направленные на создание оружия, скорее связаны с разовым использованием научно-технических решений, а не с крупномасштабным производством. «Исследования для СОИ, — говорит он, — в основном ориентированы на кратковременное применение результатов, поскольку конечные продукты этой программы будут производиться в меньших количествах, чем товары широкого потребления». Далее Дейвид отмечает: «Если наша цель заключается в повышении производственных мощностей страны, то, несомненно, эффективнее идти к этому прямым путем, чем полагаться на «навар» от программы СОИ».

Быстрому коммерческому приложению результатов исследований, проведенных в рамках СОИ, может воспрепятствовать засекречивание многих из них. Э. Сесслер из Лоуренсовской национальной лаборатории в Беркли, Д. Прожниц из Лоуренсовской национальной лаборатории в Ливермор и их коллеги работали над созданием лазера на свободных электронах. Финансирование этих работ осуществляло министерство энергетики США в рамках программы по термоядерному синтезу. Когда основная группа исследователей получала дополнительную сумму денег от ОСОИ, которая была заинтересована в ускорении этой работы, об ограничениях на публикации ничего не говорилось. Запрет наложили неожиданно, когда работа, связанная с созданием нового способа резкого увеличения

выходной мощности лазера, была в 1985 г. засекречена ОСОИ.

Хотя год спустя ОСОИ и изменила взгляды на эту работу и с тех пор пытается оправдать свои действия, министерство обороны ограничивает права подрядчиков программы СОИ на свободу действий. В этой связи вице-председатель корпорации Intel Р. Нойс отмечает, что Пентагон часто монополизировать перспективные фундаментальные достижения в области науки и техники, сохраняя за собой исключительное право на их использование. Программа по созданию сверхбыстродействующих интегральных схем, говорит Нойс, «первоначально рассматривалась, как многообещающая и выгодная для гражданской промышленности. Теперь же министерство обороны пытается все засекретить».

Другой фактор, который действует в ущерб свободному использованию разработок военной промышленности, заключается в том, что конечная продукция СОИ, по крайней мере в своем первоначальном виде, когда она воплотится в системы сугубо военного назначения, вероятно, окажется неподходящей для рынка. Почти половина обязательств, представленных в свое время в конгресс в защиту СОИ, сводилась к разработке опытных образцов систем, способных обнаруживать, сопровождать и уничтожать баллистические ракеты. Столь узконаправленные, ориентированные на применение в военных целях исследования представляются менее пригодными для последующего использования в гражданской промышленности, чем фундаментальные исследования.

Специфичность разработок, предусматриваемых программой СОИ, беспокоит и университеты, которые согласились на проведение работ по заказам и на средства Пентагона. К. Кейзен, директор программы по научным, техническим и социальным проблемам Массачусетского технологического института (МТИ), указывает, что и университеты, и военные ведомства всегда считали, что «прогресс в области чистой науки и повышение общего технического уровня — это хорошо... Теперь вопрос сводится к другому: не собираются ли службы безопасности сосредоточить свое внимание на определенных направлениях?» Кейзен возглавлял комитет, который изучал отношение ученых МТИ, уже давно получающих деньги из фондов министерства обороны, к финансированию проводимых ими исследований. Результаты обследования показали, что сужение тематики работ до отдельных направлений

специального назначения создает неудобство почти для всех исследователей МТИ. Только 5% из опрошенных сказали, что выполнение работ по программе СОИ окажется благом для института. Три четверти опрошенных считают, что исследования для СОИ не будут иметь ничего общего с проблемами гражданской экономики, и 57% заявили, что СОИ не окажет на экономику никакого позитивного влияния.

И все же министерство обороны пытается внушить мысль о том, что развитие академических исследований тоже зависит от СОИ. По данным Совета по экономическому приоритету, финансирование работ, проводимых университетами по заказам Пентагона, за последние 6 лет увеличилось на 115%. По сравнению с другими оборонными программами программа СОИ по масштабам и наращиванию темпов не имеет себе равных и в дальнейшем ее развитие будет ускоряться. Возможно, для отдельных групп ученых в университетах СОИ станет вскоре единственным доступным источником финансирования. Все большее вовлечение в программу СОИ университетов, равно как и фирм-подрядчиков, может послужить узакониванию и развитию этой программы независимо от ее ценности с точки зрения технологии и влияния на экономику.

ХИМИЯ ГОРЕНИЯ

Под редакцией

У. Гарднера-младшего

Перевод с английского

Книга написана известными американскими специалистами в области химической кинетики и представляет собой коллективную монографию, посвященную вопросам механизма горения углеводородных топлив. Обсуждаются методы численного моделирования процессов горения, а также методы вычисления констант скоростей реакций на основе теории переходных состояний. Приведен обширный обзор элементарных констант скоростей для реакций между частицами, состоящими из атомов С, Н, О, N.

Для специалистов в области горения, а также студентов и аспирантов вузов соответствующих специальностей.

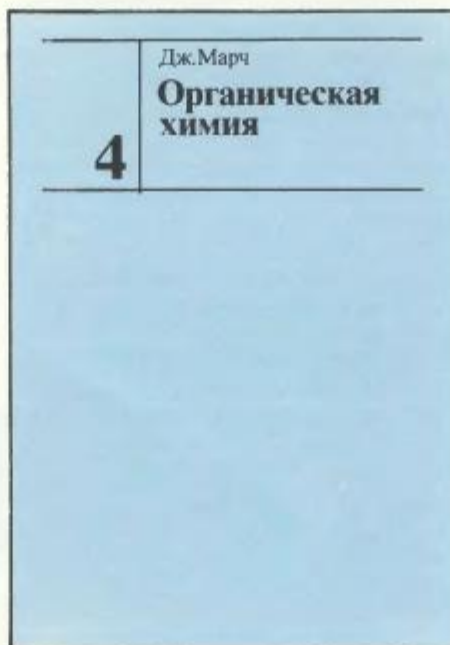
1988, 35 л. Цена 5 р. 30 к.



Издательство МИР предлагает:

Дж. Марч
ОРГАНИЧЕСКАЯ
ХИМИЯ

В 4-х томах
Перевод с английского



Современное учебное пособие для университетов и химических вузов, отражающее новейшие достижения органической химии в развитии вопросов теории и механизмов органических реакций. Широта охвата всех вопросов и литературы позволяет рассматривать эту книгу как энциклопедическое издание по теоретической органической химии.

Предназначена для преподавателей, научных работников, аспирантов, студентов химических специальностей.

Из отзыва академика А. В. Фокина: «Эта прекрасная книга будет чрезвычайно полезна для повышения профессионального уровня отраслевых институтов, преподавателей высших учебных заведений, поможет овладеть этой областью знаний аспирантам и студентам, специализирующимся в области органической химии».

Из отзыва академика М. И. Кабачника: «Эта книга завоевала широкую популярность благодаря исключительно высокому уровню, глубине и широте охвата материала, объективности в отношении вклада русских и советских ученых в развитие этой области».

Из отзыва академика В. А. Коптюга: «Знакомство с этой книгой преподавателей, студентов и научных сотрудников будет способствовать дальнейшему развитию этой важной области органической химии в нашей стране».

Из отзыва член-корр. АН СССР И. П. Белецкой: «Книга Дж. Марча позволит резко сократить время, необходимое для подбора информации и ознакомления с какой-либо проблемой в области физической органической химии».

1987, 123 л.

УСЛОВИЯ ПОДПИСКИ

Ориентировочная цена издания 13 р. Подписка принимается магазинами, распространяющими подписные издания. При подписке вносится задаток 2 р., который засчитывается при получении последнего тома.



ния междисциплинарного курса лекций в Университете штата Калифорния в Лонг-Биче, где Лернер занимает должность профессора физики и астрономии, а Госселин — профессора истории. Лернер, защитивший докторскую диссертацию в Чикагском университете в области физики твердого тела, несколько лет проработал в исследовательских лабораториях аэрокосмической и электронной промышленности, прежде чем вошел в профессорско-преподавательский состав университета в Лонг-Биче в 1969 г. Он ведет курс по истории науки наряду с обычными курсами по физике. Госселин имеет степень бакалавра искусств Йельского университета и доктора философии Колумбийского университета. Главным предметом его научных интересов является духовная и культурная история эпохи Возрождения и Реформации, а также история науки. В настоящее время Госселин работает над исследованием, связанным с изучением научно-философских трактатов конца XV в.

ИНЖЕНЕРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВСТРЕЧИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «ВОЯДЖЕР-2» С ПЛАНЕТОЙ УРАН

THE VOYAGER SPACECRAFT. R.L. Heacock in *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, Vol. 194, No. 28, pages 221-224; 1980.

VOYAGER FLIGHT ENGINEERING: PREPARING FOR URANUS. W.I. McLaughlin and D.M. Wolff. American Institute of Aeronautics and Astronautics Publication No. 85-0287; 1985.

MISSION SYSTEMS. Special issue of *Journal of the British Interplanetary Society*, Vol. 38, No. 10; October, 1985.

VOYAGER 2 MISSION TO URANUS. Special issue of *Science*, Vol. 233, No. 4759; July 4, 1986.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗЕМЛИ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ СО СВЕРХДЛИННОЙ БАЗОЙ

THE EARTH'S VARIABLE ROTATION: GEOPHYSICAL CAUSES AND CONSEQUENCES. Kurt Lambeck. Cambridge University Press, 1980.

VERY-LONG-BASELINE RADIO INTERFEROMETRY: THE MARK III SYSTEM FOR GEODESY, ASTROMETRY, AND APERTURE SYNTHESIS. Alan E. E. Rogers et al. in *Science*, Vol. 219, No. 4580, pages 51-54; January 7, 1983.

VARIATIONS IN THE ROTATIONS OF THE EARTH. W.E. Carter, D.S. Robertson, J.E. Pettey, B.D. Tapley, B.E. Schutz, R.J. Eanes and Miao Lufeng in *Science*, Vol. 224, No. 4652, pages 957-961; June 1, 1984.

GEODETIC RADIO INTERFEROMETRIC SURVEYING: APPLICATIONS AND RESULTS. W.E. Carter, D.S. Robertson and J.R. MacKay in *Journal of Geophysical Research*, Vol. 90, No. B6, pages 4577-4587; May 10, 1985.

РНК — ФЕРМЕНТ

SELF-SPLICING RNA: AUTOEXCISION AND AUTOCYCLIZATION OF THE RIBOSOMAL RNA INTERVENING SEQUENCE OF TETRAHYMENA. Kelly Kruger, Paula J. Grabowski, Arthur J. Zaig, Julie Sands, Daniel E. Gottschling and Thomas R. Cech in *Cell*, Vol. 31, No. 1, pages 147-157; November, 1982.

THE RNA MOIETY OF RIBONUCLEASE P IS THE CATALYTIC SUBUNIT OF THE ENZYME. Cecilia Guerrier-Takada, Kathleen Gardiner, Terry Marsh, Nor-

man Pace and Sidney Altman in *Cell*, Vol. 35, No. 3, Part 2, pages 849-857; December, 1983.

Biological Catalysis by RNA. T.R. Cech and B.L. Bass in *Annual Review of Biochemistry*, Vol. 55, pages 599-629; 1986.

THE INTERVENING SEQUENCE RNA OF TETRAHYMENA IS AN ENZYME. Arthur J. Zaig and Thomas R. Cech in *Science*, Vol. 231, No. 4737, pages 470-475; January 31, 1986.

БОЗОН ХИГГСА

GAUGE THEORIES OF THE FORCES BETWEEN ELEMENTARY PARTICLES. Gerard't Hooft in *Scientific American*, Vol. 242, No. 6, pages 104-138; June, 1980.

CONSTRUCTING QUARKS: A SOCIOLOGICAL HISTORY OF PARTICLE PHYSICS. Andrew Pickering. University of Chicago Press, 1984.

THE SECOND CREATION: MAKERS OF THE REVOLUTION IN TWENTIETH CENTURY PHYSICS. Robert P. Crease and Charles C. Mann. Macmillan Publishing Company, 1985.

Вайнштейн А.И., Захаров В.И., Шифман М.А., ХИГГСОВСКИЕ ЧАСТИЦЫ. — Успехи физических наук, 1980, т. 131, с. 537.

ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННЫЕ ПРОЦЕССЫ В АТОМАХ И МОЛЕКУЛАХ

ЛАЗЕРНАЯ АНАЛИТИЧЕСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ. Под редакцией В.С. Летохова. — М.: Наука, 1986.

Летохов В.С. ЛАЗЕРНАЯ ФОТОИОНИЗАЦИОННАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ. — М.: Наука, 1986.

Летохов В.С. НЕЛИНЕЙНЫЕ СЕЛЕКТИВНЫЕ ФОТОПРОЦЕССЫ В АТОМАХ И МОЛЕКУЛАХ. — М.: Наука, 1983.

Летохов В.С., Мур Б. ЛАЗЕРНОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ ИЗОТОПОВ. — Квантовая электроника, 1976, т. 3, с. 248-287, 485-516.

АНТАРКТИЧЕСКИЕ РЫБЫ

COASTAL AND DEEP-WATER BENTHIC FISHES OF THE ANTARCTIC. Hugh H. DeWitt in *Antarctic Map Folio Series, Folio 15*, edited by Victor C. Bushnell. American Geographical Society, New York, 1971.

BIOLOGICAL ANTIFREEZE AGENTS IN COLDWATER FISHES. Arthur L. DeVries

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.



Издательство МИР предлагает:

Ризетти 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.



in *Comparative Biochemistry and Physiology*, Vol. 73A, No. 4, pages 627-640; 1982.

THE EVOLUTION OF NEUTRALLY BUOYANT ANTARCTIC FISHES: THEIR SPECIALIZATIONS AND POTENTIAL INTERACTIONS IN THE ANTARCTIC MARINE FOOD WEB. J. T. Eastman in *Antarctic Nutrient Cycles and Food Webs (Proceedings of the Fourth SCAR Symposium on Antarctic Biology)*, edited by R. W. Siegfried, P. R. Condy and R. M. Laws. Springer-Verlag, 1985.

ОБЪЕКТЫ И ИХ СВОЙСТВА В ЗРИТЕЛЬНОМ ВОСПРИЯТИИ ЧЕЛОВЕКА

SEEING; ILLUSION, BRAIN, AND MIND. John P. Frisby. Oxford University Press, 1980.

FORM AND ORGANIZATION. Irwin Rock in *Perception*. Scientific American Books, Inc., 1984.

PROPERTIES, PARTS AND OBJECTS. A. Treisman in *Handbook of Perception and Performance: Vol. 2*, edited by K. Boff, L. Kaufman and J. Thomas. John Wiley & Sons, Inc., 1986.

Ганзен В. А. ВОСПРИЯТИЕ ЦЕЛОСТНЫХ ОБЪЕКТОВ. — Л.: Издательство ЛГУ, 1974.

Грегори Р. РАЗУМНЫЙ ГЛАЗ. Перев. с англ. — М.: Мир, 1981.

ГАЛИЛЕЙ И ПРИЗРАК ДЖОРДАНО БРУНО

GIORDANO BRUNO AND THE HERMETIC TRADITION. Frances A. Yates. University of Chicago Press, 1964.

GALILEO GALILEI: A BIOGRAPHY AND INQUIRY INTO HIS PHILOSOPHY OF SCIENCE. Ludovico Geymonat. McGraw-Hill Book Company, 1965.

GALILEO AND THE LONG SHADOW OF BRUNO. Edward A. Gosselin and Lawrence S. Lerner in *Archives Internationales d'Histoire des Sciences*, Vol. 25, No. 97, pages 223-246; December, 1975.

THE ASH WEDNESDAY SUPPER (LA CENA DE LE CENERI). Edited and translated by Edward A. Gosselin and Lawrence S. Lerner. Archon Books, 1977.

GALILEO. Stillman Drake. Oxford University Press, 1980.

Горфункель А. Х. ДЖОРДАНО БРУНО. — М.: Мысль, 1965.

Кузнецов Б. Г. ИДЕИ И ОБРАЗЫ ВОЗРОЖДЕНИЯ. — М.: Наука, 1964.

ЗАНИМАТЕЛЬНЫЙ КОМПЬЮТЕР

STAR FLEET TECHNICAL MANUAL. Designed by Franz Joseph. Ballantine Books, 1975.

MICROCOMPUTER DISPLAYS, GRAPHICS, AND ANIMATION. Bruce A. Artwick. Prentice-Hall, 1985.

НАУКА ВОКРУГ НАС

THE COLOUR STEREOSCOPIC EFFECT. B. N. Kishto in *Vision Research*, Vol. 5, pages 313-329; June, 1965.

THE EFFECT OF PUPIL SIZE VARIATIONS ON THE COLOUR STEREOSCOPIC PHENOMENON. Jon Martin Sundet in *Vision Research*, Vol. 12, pages 1027-1032; May, 1972.

BREWSTER AND WHEATSTONE ON VISION. Edited by Nicholas J. Wade. Academic Press, 1983.

Логвиненко А. Д. ЗРИТЕЛЬНОЕ ВОСПРИЯТИЕ ПРОСТРАНСТВА. — М.: Издательство МГУ, 1981.

Рок И. ВВЕДЕНИЕ В ЗРИТЕЛЬНОЕ ВОСПРИЯТИЕ. Перев. с англ. — М.: Педагогика, 1980.

В МИРЕ НАУКИ

Подписано в печать 22.12.86.
По оригинал-макету. Формат 60 × 90 1/8.

Гарнитуры таймс, гелсиос.

Офсетная печать.

Объем 7,00 бум. л.

Усл.-печ. л. 14,00.

Уч.-изд. л. 17,74.

Усл. кр.-отт. 55,36

Изд. № 25/5510. Заказ 867

Тираж 24100 экз. Цена 2 р.

Издательство «Мир»

Набрано в редакции по подготовке оригинал-макетов издательства «Мир» на фотонаборном комплексе «Компьюграфик»

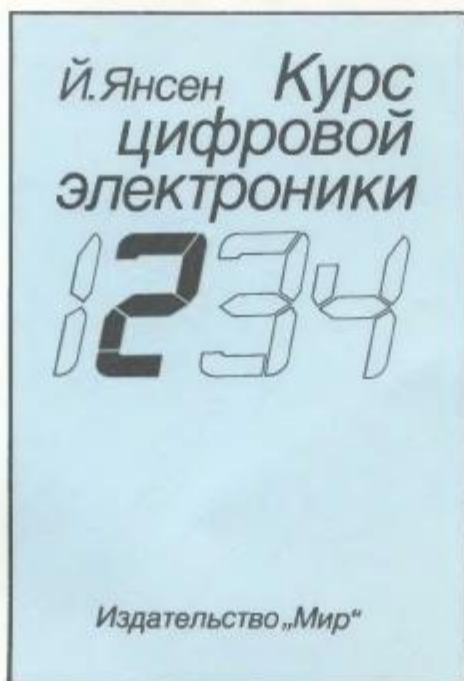
Типография В/О «Внешторгиздат» Государственного комитета СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 127576, Москва, Илимская, 7



Издательство МИР предлагает:

Й. Янсен
**КУРС ЦИФРОВОЙ
ЭЛЕКТРОНИКИ**

В четырех томах
Перевод с голландского



Автор курса — крупный голландский специалист с большим опытом практической работы. В т. 1 приводится описание схем простейших элементов электронной техники и ИС для цифровых устройств. В т. 2 рассматриваются методы проектирования типовых узлов на базе ИС и приводятся схемы разнообразных цифровых устройств. В т. 3 речь идет о

методах проектирования сложных цифровых устройств на базе микропроцессорных секций. Последний том посвящен принципам построения микроЭВМ. В качестве примеров используются новейшие разработки.

Для инженеров и студентов электронных специальностей, а также разработчиков ЭВМ.

1987—1988, 93 л.

Цена 8 р. за комплект.

Подписка принимается магазинами, распространяющими подписные издания. При подписке вносится задаток 2 р., который засчитывается при получении последнего тома.



В следующем номере:



**АППАРАТЫ ДЛЯ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ,
ИСПОЛЬЗУЮЩИЕ МУСКУЛЬНУЮ СИЛУ ЧЕЛОВЕКА**

**КОРПОРАТИВНАЯ СИСТЕМА
В КОММЕРЧЕСКОМ ЗДРАВООХРАНЕНИИ США**

ХАОС: ДЕТЕРМИНИЗМ И НЕПРЕДСКАЗУЕМОСТЬ

НЕВИДИМОЕ ВЕЩЕСТВО ВО ВСЕЛЕННОЙ

ПЕРВЫЙ РЕТРОВИРУС ЧЕЛОВЕКА

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ СЕТЧАТКИ

КАК КОРНИ РАСТЕНИЙ РЕАГИРУЮТ НА СИЛУ ТЯЖЕСТИ

ДРЕВНЕРИМСКИЙ ЖИЛОЙ КОМПЛЕКС

КАК ПРОЙТИ ЧЕРЕЗ ЛАБИРИНТ НЕ ЗАБЛУДИВШИСЬ

**О ФРАКТАЛЬНЫХ ГОРАХ, ГРАФТАЛЬНЫХ РАСТЕНИЯХ
И ДРУГИХ ГРАФИЧЕСКИХ ЧУДЕСАХ ФИРМЫ РИХАР**