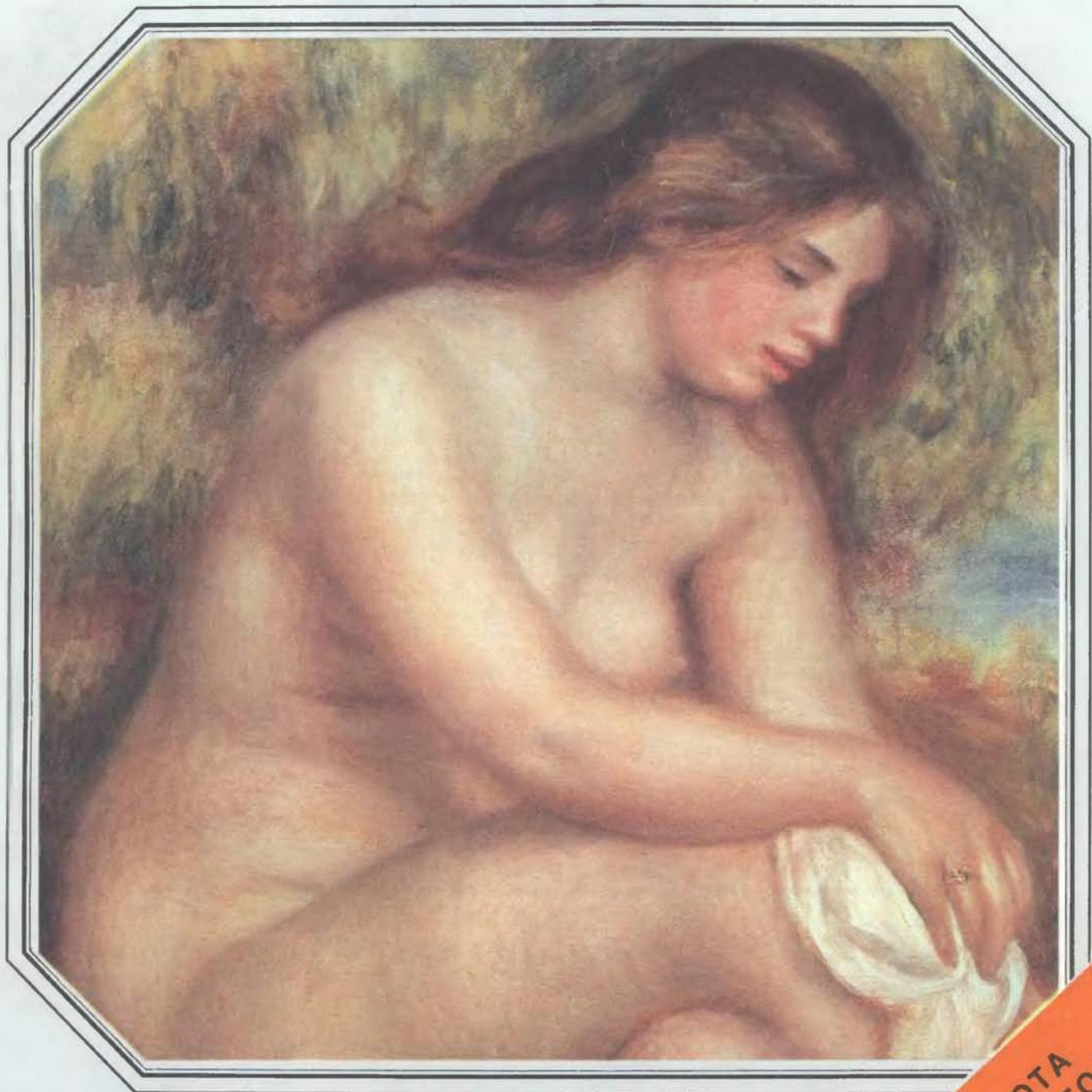


В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN

Издание на русском языке



Май **5** 1988

ПОЛНОТА
И ПЛОДОВИТОСТЬ

Ф. Блум, А. Лейзерсон, Л. Хофстедтер

МОЗГ, РАЗУМ И ПОВЕДЕНИЕ

Перевод с английского



Книга американских авторов — это основанное на междисциплинарном подходе изложение науки о мозге. Рассмотрены вопросы строения и функционирования нервной системы; проблема гомеостаза; эмоции, память, мышление; специализация полушарий и «я» человека; биологические основы психозов; возрастные изменения деятельности мозга. Написанная живым языком и прекрасно иллюстрированная, эта книга послужила основой восьмисерийной научно-популярной передачи «Мозг» по телевидению США.

Содержание: Анатомическая организация нервной системы. Структура и физиология нервных клеток. Ритмы мозга. Эмоции. Память. Мышление. Специализация полушарий. Нарушения функции мозга. Биологические основы психозов. Возрастные изменения деятельности мозга. Перспективы диагностики и лечения повреждений мозга.

Для студентов-биологов, медиков и психологов, школьников старших классов и всех, кто интересуется наукой о мозге и поведении.

1988, 33 л. Цена 2 р. 60 к.



В МИРЕ НАУКИ

Scientific American · Издание на русском языке

ИЛЛЮСТРИРОВАННЫЙ ЖУРНАЛ

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

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МИР» МОСКВА

№ 5 - МАЙ 1988

В номере:

(Scientific American, March 1988, Vol. 258, No. 3)

6 Неакустические методы обнаружения подводных лодок

Том Стефаник

Эффективные системы обнаружения подводных лодок, основанные на неакустических методах, появятся, вероятно, не скоро. Несмотря на это, принципы, которые могли бы лежать в их основе, изучаются уже сейчас, поскольку функционирующая система такого типа способна обеспечить военное преимущество



14 Гравитация и антивещество

Терри Гоулдман, Ричард Дж. Хьюз, Майкл Мартин Нието

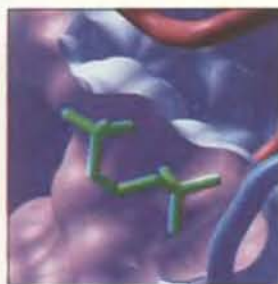
И Ньютон, и Эйнштейн утверждали, что гравитационное ускорение объекта не зависит от его массы и состава. Современные представления меняют эту точку зрения; проверкой новых предположений мог бы стать эксперимент с антипротонами



26 Антитела-катализаторы

Ричард А. Лернер, Альфонсо Трамонтано

В этом новом классе молекул сочетается огромное разнообразие антител со способностью к катализу, что таит в себе богатые практические возможности в биотехнологии, медицине, а также в изучении белков



36 Строительные краны

Лоренс К. Шапиро, Говард И. Шапиро

Развитие этой группы грузоподъемных машин обусловлено растущими нуждами городского строительства. В настоящее время в строительной индустрии применяются подъемные краны многих типов





36 Отчего у леопарда пятна на шкуре

Джеймс Д. Марри

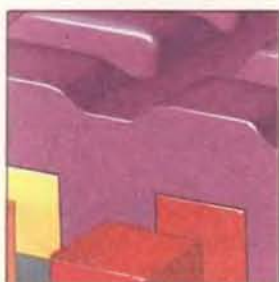
Возможно, в основе широкого разнообразия раскрасок шкуры у животных, наблюдаемого в природе, лежит единый механизм формирования таких структур. Результаты математического моделирования этого механизма открывают биологам новые перспективы для исследований



56 Полнота и плодовитость

Роза Э. Фриш

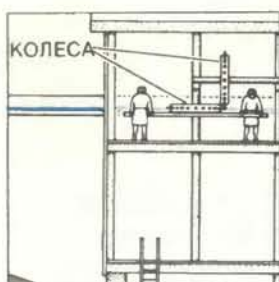
Уменьшение количества жировой ткани из-за недоедания или физической нагрузки может приводить к бесплодию у женщин. Этот эффект обратим: плодовитость возвращается вместе с восстановлением массы жира. Возможно, жировая ткань оказывает регулирующее влияние на детородную функцию



66 На пороге нового поколения транзисторов

Роберт Т. Бейт

Компоненты обычных интегральных схем могут уменьшаться в размерах до тех пор, пока сохраняются их функциональные свойства. Дальнейшая миниатюризация требует создания принципиально новых полупроводниковых приборов



72 Древнеримский порт Косса

Анна Маргерит Макканн

В период своего расцвета в 100 г. до н.э. этот порт имел мастерские по изготовлению амфор, винодельню, комплекс по переработке рыбы, водораспределительную систему, а также гавань с бетонными пирсами — всем этим управляла одна предприимчивая семья

4 Об авторах

5 50 и 100 лет назад

54, 64, 80, 90,

97 Наука и общество

82 Наука вокруг нас

86 Занимательный компьютер

92 Книги

103 Библиография

SCIENTIFIC AMERICAN

Jonathan Piel
EDITOR

Harry Myers
PRESIDENT AND PUBLISHER

BOARD OF EDITORS

Armand Schwab, Jr.
Timothy Appenzeller
Timothy M. Beardsley
John M. Benditt, Laurie Burnham
David L. Cooke, Jr.; Ari W. Epstein
Gregory R. Greenwell
John Horgan, June Kinoshita;
Philip Morrison (BOOK EDITOR)
Ricki L. Rusting, Karen Wright

Samuel L. Howard
ART DIRECTOR

Richard Sasso
DIRECTOR OF PRODUCTION

SCIENTIFIC AMERICAN, INC.

Claus-Gerhard Firchow
PRESIDENT AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER

Georg-Dieter von Holtzbrinck
CHAIRMAN OF THE BOARD

Gerard Piel
CHAIRMAN EMERITUS

© 1988 by Scientific American, Inc.

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

В МИРЕ НАУКИ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
С. П. Капица

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА
Л. В. Шепелева

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

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

ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
С. А. Стулов

ЗАВЕДУЮЩАЯ РЕДАКЦИЕЙ
Т. Д. Франк-Каменецкая
РУКОВОДИТЕЛЬ ГРУППЫ ФОТОАБОРА
В. С. Галкин

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР
С. К. Аносов
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», 1988

На обложке



ПОЛНОТА И ПЛОДОВИТОСТЬ

На обложке приведен фрагмент картины Огюста Ренуара «Сидящая купальщица, вытирающая ногу». В искусстве женская красота традиционно связывалась с полнотой. Сегодня показано, что эта связь имеет биологический смысл (см. статью Розы Э. Фриш «Полнота и плодовитость» на с. 56). Для того чтобы женщина могла произвести потомство, в ее организме должно быть запасено определенное количество жира. По-видимому, жировая ткань играет регуляторную роль и важна для установления и поддержания нормальных менструальных циклов.

Иллюстрации

ОБЛОЖКА: São Paulo Museum of Art (Giraudon/Art Resource)

СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК
7-10	Ian Worpole	34	Andrew Christie	57	Naturhistorisches Museum, Vienna
11	Jet Propulsion Laboratory	35	Michael E. Pique	58, 59	Bob Conrad
12	Ian Worpole	37	Laurie Burnham	60, 61	Carol Donner
14, 15	La Specola Museum of Zoology, Florence (Scala/Art Resource)	38-43	Hank Iken	63	Peter C. Ortner
16	Lawrence Berkeley Laboratory	47	Bruce Coleman Inc./ G. Harrison	67-71	George V. Kelvin
17-22	George Retseck	48	Patricia J. Wynne	73	Anna Marguerite McCann
27	Arthur J. Olson	49	Animals Animals (слева), Patricia J. Wynne (справа)	74, 75	Tom Prentiss
28	Elizabeth D. Getzoff и John A. Tainer	50	James D. Murray (вверху), Patricia J. Wynne (внизу)	76	Anna Marguerite McCann
29	Elizabeth D. Getzoff и John A. Tainer (вверху), Michael E. Pique, Elizabeth D. Getzoff и John A. Tainer (внизу)	51	Avi Baron и Paul Munro (вверху), Patricia J. Wynne (внизу)	77	Tom Prentiss (вверху); Barbara Bini, American Academy in Rome (внизу)
30, 31	Andrew Christie	52	Bruce Coleman Inc./ Hans Reinhard (вверху слева), Animals Animals (вверху справа), Patricia J. Wynne (внизу)	78	Tom Prentiss
32	Andrew Christie	53	Charles M. Vest и Youren Xu	79	John P. Oleson
33	Arthur J. Olson			82-85	Michael Goodman
				86	James F. Blinn
				87, 88	Edward Bell
				89	James E. Loyless

Об авторах

Tom Stefanick (ТОМ СТЕФАНИК «Неакустические методы обнаружения подводных лодок») — член Американской ассоциации содействия развитию науки в Совете по контролю над вооружениями и национальной безопасности при комиссии по делам вооруженных сил. В 1979 г. получил степень магистра в области гражданского строительства в Массачусетском технологическом институте, затем работал в Институте исследований в области обороны и разоружения в Бруклине, шт. Массачусетс. Стефаник проводил исследования в области военно-морской политики в Федерации американских ученых, после этого стал членом вышеупомянутой ассоциации. Кроме вопросов обнаружения подводных лодок он занимался изучением военно-морской стратегии США и СССР, а также анализом бюджета и структуры американского флота.

Terry Goldman, Richard J. Hughes, Michael Martin Nieto (ТЕРРИ ГОУЛДМАН, РИЧАРД ДЖ. ХЬЮЗ, МАЙКЛ МАРТИН НИЕТО «Гравитация и антивещество») — физик-теоретик из Лос-Аламосской национальной лаборатории. Гоулдман защитил докторскую диссертацию в 1973 г. в Гарвардском университете, затем работал в Станфордском ускорительном центре и Лос-Аламосской лаборатории. С 1978 по 1980 г. был старшим научным сотрудником в Калифорнийском технологическом институте (КТИ), потом снова возвратился в Лос-Аламосскую лабораторию. Область научных интересов Гоулдмана — описание цветового удержания в квантовой хромодинамике и его приложения в ядерной физике. Хьюз, уроженец Англии, в 1975 г. получил степень бакалавра в области математической физики, а в 1978 г. — степень доктора философии в области физики элементарных частиц в Ливерпульском университете. Затем занимался научной работой в Оксфордском университете, КТИ, Европейской организации ядерных исследований и Эдинбургском университете. В Лос-Аламосской лаборатории работает с 1985 г. Нието поступил в аспирантуру Корнеллского университета с намерением специализироваться в области экспериментальной физики высоких энергий, но стал теоретиком. После защиты докторской диссертации он отправился в «кругосветное путешествие теоретика» и провел несколько лет, работая в Нью-Йоркском университете в Стоуни-Брук, Университете г. Копенгаге-

на, Калифорнийском университете в Санта-Барбаре, Университете г. Кьюто и Университете Пардю. С 1972 г. Нието работает в Лос-Аламосской лаборатории и занимается проблемами существования «новых» гравитационных сил.

Richard A. Lerner, Alfonso Tramontano (РИЧАРД А. ЛЕРНЕР, АЛЬФОНСО ТРАМОНТАНО «Антитела-катализаторы»). Лернер получил степень доктора медицины в 1964 г. в Медицинской школе Станфордского университета. С 1965 г. — за исключением двух лет, в течение которых он работал в Вистаровском институте анатомии и биологии в Филадельфии, — является сотрудником Научно-исследовательского института Скриппсовской клиники; в настоящее время он его директор. Трамонтано получил степень бакалавра в 1976 г. в Колумбийском университете. Степень доктора философии в области неорганической химии была ему присвоена в 1980 г. в Калифорнийском университете в Риверсайде, после чего он занимался исследовательской работой в Гарвардском университете. В 1983 г. стал сотрудником Научно-исследовательского института Скриппсовской клиники, где сейчас он доцент кафедры молекулярной биологии.

Lawrence K. Shapiro, Howard I. Shapiro (ЛОРЕНС К. ШАПИРО, HOWARD И. ШАПИРО «Строительные краны») — сын и отец, работают в фирме Charles M. Shapiro & Sons, оказывающей консультационные услуги по техническим вопросам в области строительства. Фирма была основана отцом старшего Шапира. Л. Шапиро, получивший в 1978 г. степень бакалавра по гражданскому строительству в Университете шт. Виргиния, с 1983 г. занимается проектированием строительных кранов. До этого он работал на различных должностях в фирме Zurn Industries. Г. Шапиро в фирме занимает должность главного инженера по кранам. В 1953 г. он окончил Политехнический институт в Бруклине, получив диплом инженера по специальности гражданское строительство. В фирме работает с 1957 г. после службы в инженерных войсках американской армии. Г. Шапиро — автор книги по кранам и деррикам.

James D. Murray (ДЖЕЙМС Д. МАРРИ «Отчего у леопарда пятна на шкуре») — профессор математической биологии и директор Центра математической биологии Оксфордского университета. В 1956 г. получил сте-

пень доктора в области прикладной математики в Университете св. Андрея, а в 1968 г. — степень доктора в области математики в Оксфордском университете. С 1961 по 1963 г. преподавал математику в Оксфордском университете, затем перешел в Мичиганский университет на должность профессора прикладной механики, а в 1967 г. стал профессором математики в Нью-Йоркском университете. Марри работает в Оксфордском университете с 1970 г., был также приглашенным профессором в университетах ряда стран, в том числе в Тайваньском национальном университете и Университете г. Флоренции.

Rose E. Frisch (РОЗА Э. ФРИШ «Плотность и плодовитость») — доцент в Школе здравоохранения Гарвардского университета. Степень бакалавра получила в 1939 г. в Смит-Колледже, степень магистра в области зоологии в 1940 г. в Колумбийском университете, степень доктора философии в области генетики — в 1943 г. в Висконсинском университете. В 1965 г. стала сотрудницей Гарвардского центра по изучению народонаселения; в период работы там заинтересовалась биологией размножения. В последнее время занимается проблемой долгосрочного влияния физических упражнений на детородную функцию и общее состояние здоровья у женщин.

Robert T. Bate (РОБЕРТ Т. БЕЙТ «На пороге нового поколения транзисторов») — руководитель отделения перспективных разработок фирмы Texas Instruments, Inc., в которой с 1964 г. он занимал различные должности. Возглавляемое теперь им отделение занимается исследованием субмикронных полупроводниковых структур с принципиально новой архитектурой. Эта работа ориентирована на создание нового поколения интегральных схем с ультравысокой степенью интеграции, основанных на использовании квантово-размерных эффектов. В 1955 г. после окончания Колорадского университета Бейт получил степень бакалавра по инженерной физике, а в 1957 г. — степень магистра в Университете шт. Огайо. До поступления на работу в Texas Instruments занимался исследовательской работой в Институте им. Баттелле. Бейт имеет 15 зарегистрированных в США патентов.

Anna Marguerite McCann (АННА МАРГЕРИТ МАККАНН «Древнеримский порт Косса») — руководитель раскопок порта Косса. В 1954 г. закончила Колледж Уэлсли. Получила степень магистра в Институте (продолжение см. на стр. 103)

SCIENTIFIC AMERICAN

МАРТ 1938 г. Самые сокровенные тайны жизни связаны с ферментами — гигантскими сложными молекулами, которые управляют бесчисленными химическими процессами, происходящими в тканях живого организма. Благодаря ферментам мы перевариваем пищу и извлекаем из воздуха необходимый нам кислород. Лишь разгадав тайну этих биологических катализаторов, можно понять, каким образом поступившие в организм пища и кислород влияют на рост, движение и размножение живых существ и даже на наши ощущения и мысли.

С помощью электронного пучка на флюоресцентном экране можно регистрировать малейшие изменения электрического тока. Лишенная движущихся частей и неизбежно связанной с ними инерции катодно-лучевая трубка стала новым замечательным инструментом в научных лабораториях, конструкторских бюро и заводских цехах.

Упаковочная тара одноразового пользования изготавливается в наши дни для самых различных нужд. Особенно широко стали применяться металлические банки для пива. Это произошло благодаря изобретению специального внутреннего покрытия, изолирующего содержимое от металла. Реже в качестве упаковки для жидких продуктов используются пакеты из бумаги и прозрачной пленки.

связаться со многими городами. На цокольном этаже к услугам посетителей имеется машина для чистки обуви: электрический мотор вращает гибкий вал, к концу которого прикреплен крутящийся шетка. Все ценности клуба хранятся в сейфе с электрическим замком, а главный вход в здание имеет дверь, автоматически открывающуюся с помощью электричества. Остается лишь надеяться, что клуб будет успешно выполнять свое основное назначение — способствовать развитию науки об электричестве и расширению областей ее применения.

Недавно в немецком городе Мюнстере группа австралийских аборигенов продемонстрировала искусство бросания бумеранга перед учеными, которые хотят разобраться в причинах, заставляющих это метательное оружие лететь по столь замысловатой траектории.

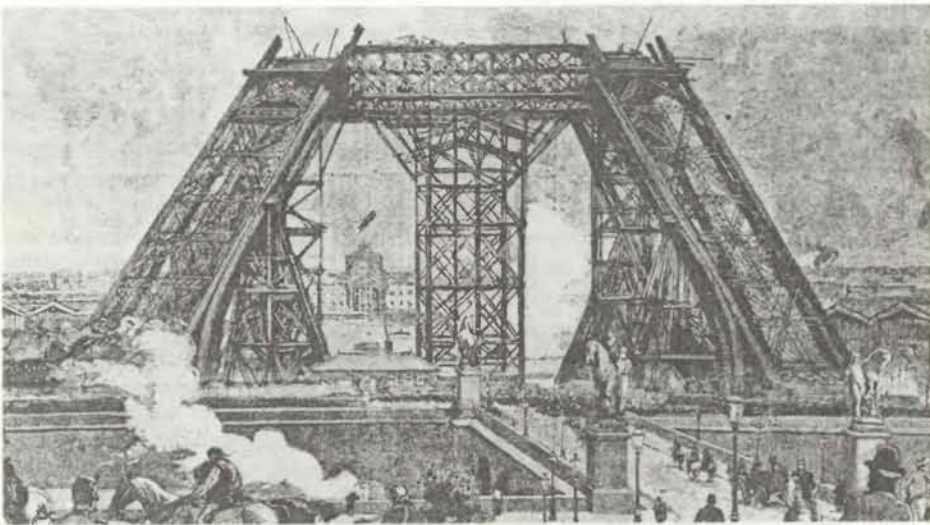
Недавние снежные бураны, возможно, будут иметь положительные последствия, поскольку они должны «поддержать» сторонников таких технических нововведений, как прокладка под землей телеграфных и электрических кабелей в крупных городах, а также телеграфных линий, связывающих крупнейшие торговые центры страны. Эти проекты, возможно, и не привлекли бы внимания, если бы во время снежных метелей 12 и 13 марта телеграфные сообщения между Бостоном и Нью-Йорком не пришлось передавать через Лондон.

Предположение о том, что скарлатина и туберкулез могут передаваться от больных коров человеку, было высказано сотрудниками колледжа Марришаль в Абердине (Шотландия). Эта гипотеза требует дальнейшей проверки, однако уже сейчас следует принять все возможные меры, чтобы не допустить поступления на рынок молока от больных туберкулезом коров.

Широкое употребление лука в пищу считается весьма полезным, и если бы не острый специфический запах, который многие не переносят, лук, наверное, появлялся бы на нашем столе гораздо чаще. Например, для лечения бронхита просто нет лучшего лекарства, чем вареный или жареный лук.

Начальник пожарной охраны г. Бостона Уайтком недавно проводил опыт с крысами, сажая их в клетку, где лежали спички. Цель опыта — проверить, могут ли эти животные стать причиной пожара. Кажется, на этот вопрос получен однозначный ответ: в первую же ночь, когда крысы получили доступ к спичкам, четыре раза вспыхивал огонь. Хотя животные не были голодны, их почему-то привлекал фосфор, содержащийся в спичечных головках.

В Париже полным ходом идут работы по сооружению павильонов для Международной выставки 1889 г., которая обещает стать самой впечатляющей демонстрацией достижений технического прогресса.



Постройка гигантской башни по проекту Эйфеля для предстоящей Международной выставки в Париже

SCIENTIFIC AMERICAN

МАРТ 1888 г. Во вторник 31 января в Нью-Йорке состоялось официальное открытие нового помещения Электрического клуба. Это событие должно придать науке об электричестве новый социальный статус. Здание клуба освещается электричеством. В самых больших залах висят люстры из латуни и посеребренной бронзы, украшенные стеклянными призмами и подвесками. В зале заседаний установлен телефон, по которому можно

Неакустические методы обнаружения подводных лодок

Эффективные системы обнаружения подводных лодок, основанные на неакустических методах, появятся, вероятно, не скоро. Несмотря на это, принципы, которые могли бы лежать в их основе, изучаются уже сейчас, поскольку функционирующая система такого типа способна обеспечить военное преимущество

ТОМ СТЕФАНИК

РАЗМЕЩЕНИЕ ядерных ракет на подводных лодках, принадлежащих СССР, Франции, Великобритании, Китаю и США, объясняется тем, что во время нахождения лодки под водой ее ракеты относительно защищены от ударов противника. Фактор защищенности ракет означает, что в кризисной ситуации враждующие ядерные державы вряд ли станут запускать эти ракеты, чтобы не дать противнику уничтожить их первым ударом. Действительно, представляется маловероятным, что сторона, сохраняющая способность нанести ответный удар, подвергнется сама первому удару, поскольку угроза возмездия будет сдерживать противника от нападения. Вследствие этого подводный атомный флот остается одним из ключевых факторов международной безопасности. Вместе с тем в условиях технического прогресса неизбежно возникает вопрос: станут ли подводные лодки, включая и те, что несут на борту ядерные ракеты, более уязвимыми в будущем?

Сами по себе подводные лодки не являются неуязвимыми. После обнаружения их противником они могут быть атакованы средствами противолодочной обороны (ПЛО). Со времен первой мировой войны, когда были разработаны первые методы обнаружения подводных лодок, ПЛО достигла высокой степени совершенства и теперь играет важную роль в любых военно-морских операциях. Обычно средства ПЛО состоят из специальных надводных судов, самолетов, вертолетов и ударных подводных лодок и предназначены главным образом для уничтожения подводных лодок общего назначения, представляю-

щих серьезную угрозу для авианосцев, транспортов снабжения и других кораблей.

За последние 20 лет командование военно-морских сил США пересмотрело роль своей ПЛО — в особенности ударных подводных лодок — с тем чтобы включить в число их целей советские атомные подводные лодки с баллистическими ракетами на борту (ПЛАРБ) и для нанесения удара по этим лодкам в самом начале военных действий. Такая стратегия нацелена на то, чтобы СССР был вынужден использовать часть своих военно-морских сил, включая современные ударные подводные лодки, не в наступательных, а в чисто оборонительных целях. Более того, успешные операции ПЛО США против советских ПЛАРБ в конфликтной ситуации рассматриваются как способ заставить советских руководителей прекратить военные действия.

Из вышесказанного ясно, что Советский Союз получил бы значительные преимущества, если бы развернул в одностороннем порядке эффективную систему, позволяющую обнаруживать подводные лодки и следить за их передвижением; тем самым он облегчил бы себе задачу защиты собственных ПЛАРБ от американских ударных подводных лодок и смог бы посылать свои ударные подводные лодки, чтобы перекрывать морские коммуникации между США и их союзниками. Возможно, это позволило бы СССР даже нейтрализовать американские стратегические силы морского базирования, которые имеют вдвое больше ядерных боеголовок, чем такие же советские силы. Если бы такую систему развернули США, они

также получили бы решающее военное преимущество: эта система представляла бы гораздо более реальную угрозу для советских ПЛАРБ, а морские коммуникации были бы намного надежнее защищены от советских подводных лодок.

ДЛЯ обнаружения баз подводных лодок вовсе не обязательно прибегать к изощренным методам разведки. Даже коммерческие спутники, производящие фотографирование земной поверхности, способны обнаружить подводную лодку в порту. В любой день в порту находится 35—45% американских ПЛАРБ. Советские ПЛАРБ проводят в море в среднем лишь 15% времени, но многие баллистические ракеты способны достичь целей на территории США, будучи запущенными из порта. При возникновении кризисной ситуации обе стороны, по-видимому, в состоянии вывести большую часть своих ПЛАРБ в море в течение нескольких суток.

Американские ПЛАРБ, находясь в подводном положении, могут бороздить просторы Северной Атлантики и северной части Тихого океана. Поскольку ракета «Посейдон С-3» имеет дальность действия 2500 морских миль (4630 км), ее боеголовки способны достичь целей на территории СССР при запуске с площади в пределах 10 млн. кв. км. Для новой ракеты «Трайидент I С-4» эта область составляет 70—100 млн. кв. км, поскольку ее дальность действия 4200 миль (7780 км). ПЛАРБ Великобритании и Франции, которые к середине 1990-х годов будут нести сотни ядерных боеголовок, также патрулируют в Северной Ат-

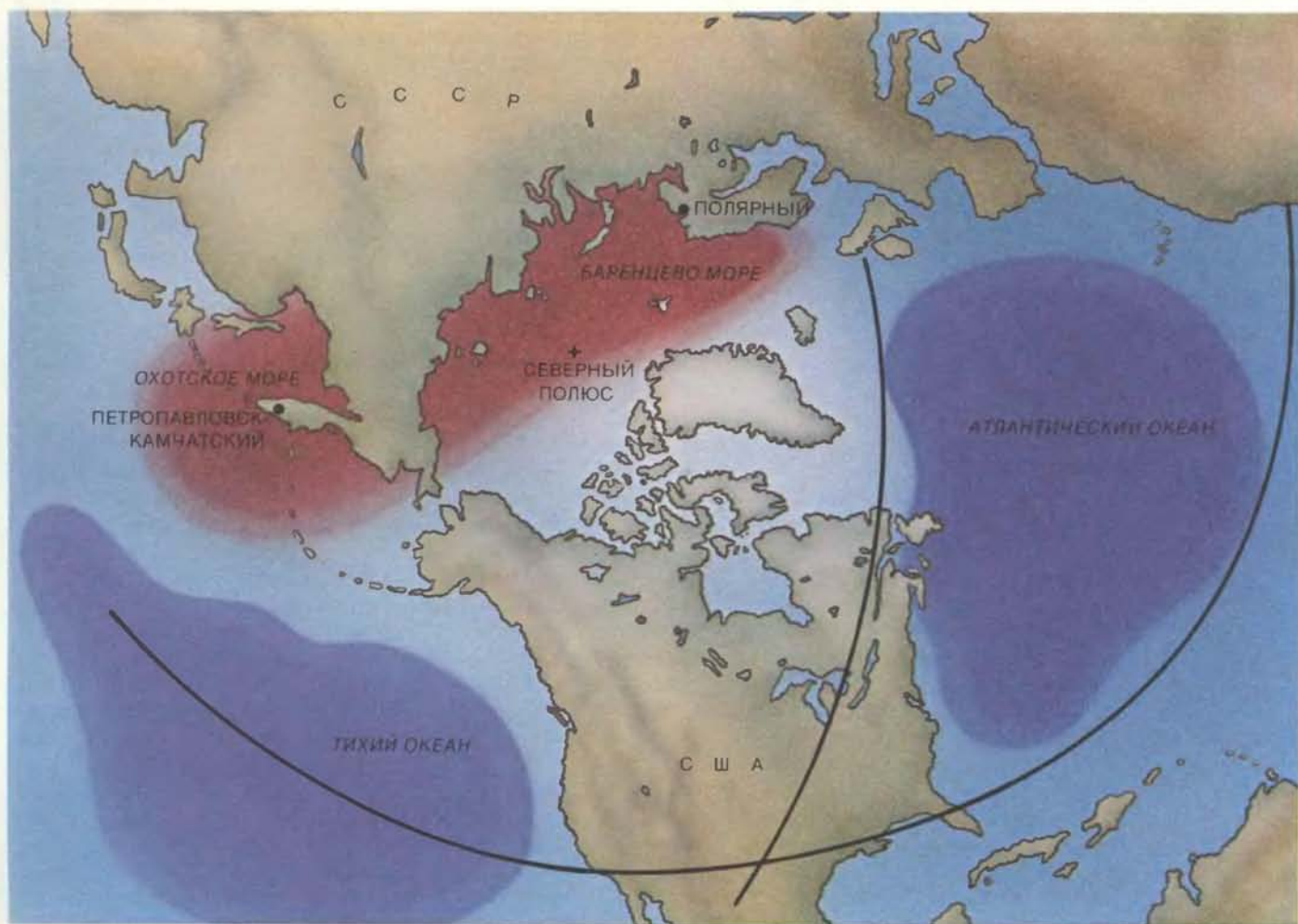
лантике. Большинство советских ПЛАРБ остается в пределах нескольких сотен миль от советских берегов в Арктике и в западной части Тихого океана, поскольку даже из этих районов их ракеты способны поразить цели на континентальной территории США. Лишь две или три советских ПЛАРБ, обычно класса «Янки» (подводные лодки старшего поколения), несут дежурство в основном у берегов США.

Подводные лодки независимо от своего «происхождения» обладают некоторыми присущими только им особенностями, из которых наиболее характерной является производимый ими при движении шум. Вследствие того что вода очень хорошо проводит

звук, наиболее распространенные и наиболее эффективные методы обнаружения подводных лодок опираются на использование подводных акустических датчиков. Существуют два основных типа систем акустического обнаружения, известных под названием активных и пассивных сонаров. Активный сонар излучает акустический импульс (характерное «жужжание», знакомое многим по фильмам о подводных лодках времен второй мировой войны), а затем «слушает» эхо, или звуковой сигнал, отраженный от подводных объектов. Однако, посылая мощные импульсы, активный сонар обнаруживает себя, что помогает подводной лодке противника уничтожить его или ускользнуть. По этой

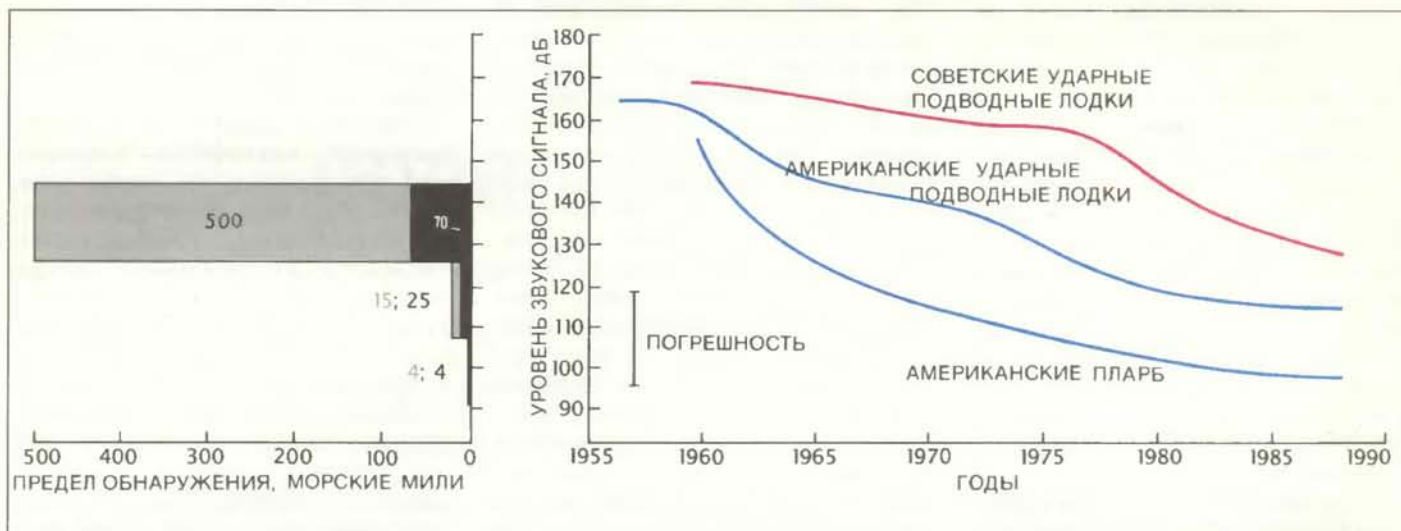
причине американские подводные лодки во время выполнения боевых задач используют главным образом пассивные сонары.

Пассивный сонар — это система подводных микрофонов (гидрофонов), размещаемых так, чтобы улавливать звуки моря. Сравнивая сигналы, «услышанные» отдельными гидрофонами, система может определить направление на источник звука. Кроме того, эти сигналы сравниваются с предварительно записанными эталонными сигналами с тем, чтобы установить, судно какого типа их порождает. Пассивный сонар может обнаруживать, определять местоположение и идентифицировать подводную лодку только в том случае, если



РАЙОНЫ ПАТРУЛИРОВАНИЯ современных атомных подводных лодок с баллистическими ракетами на борту (ПЛАРБ), принадлежащих СССР (красный) и США (фиолетовый), различаются по своему географическому положению и отражают особенности оборонительной тактики. Советские баллистические ракеты, размещаемые на подводных лодках, имеют такую дальность (дуги), которая позволяет ПЛАРБ, базирующимся в Полярном и Петропавловске-Камчатском, наносить удары по большинству целей на континентальной территории США соответственно из арктических морей и Охотского моря и прилегающих к ним районов. Тем самым советские ПЛАРБ будут недостижимы для сил противолодочной обороны США и их союзников, контролирующих узкие проходы,

ведущие в Атлантический и Тихий океаны. Кроме того, поскольку американские ударные подводные лодки могут получить приказ начать охоту за ПЛАРБ противника на ранних стадиях обычной (неядерной) войны, для советских ПЛАРБ более безопасно оставаться недалеко от родных берегов, где их могут легко защитить самолеты, а также надводные и подводные суда. Американские ПЛАРБ имеют неограниченный доступ в северные части Атлантического и Тихого океанов, а из-за того что они создают меньше шума, чем советские подводные лодки, они могут патрулировать акваторию океана без сопровождения — по крайней мере до тех пор, пока советская сторона не разработает эффективные средства обнаружения подводных лодок с воздуха или из космоса.



УРОВЕНЬ ШУМА, создаваемого подводной лодкой, определяет величину максимального расстояния, на котором она может быть обнаружена (слева) с помощью гидрофонов (подводных микрофонов) на глубинах свыше 1200 м (серый) и менее 300 м (черный). Как советские

(красный), так и американские (синий) подводные лодки становятся все более бесшумными, однако по этому показателю американский подводный флот все еще превосходит советский.

она создает достаточно сильный шум. По этой причине при конструировании подводных лодок как в США, так и в СССР применяются специальные меры, направленные на то, чтобы сделать лодки более бесшумными. К этим мерам относятся точная балансировка вращающихся частей для сведения к минимуму вибраций, установка механизмов на звукопоглощающих рамах, применение для охлаждения реактора систем циркуляции, основанных на использовании разности температур, а не механических насосов, и сведение к минимуму асимметрии потока в следе лодки за винтом.

Другой характерной особенностью подводных лодок является то, что они имеют стальной корпус. Массивные стальные конструкции создают локальные возмущения магнитного поля Земли, поэтому для обнаружения подводной лодки могут использоваться детекторы магнитных аномалий (приборы, чувствительные к изменениям локального геомагнитного поля). Детекторами магнитных аномалий, способными обнаруживать присутствие погруженной подводной лодки с расстояния примерно 1,5 км, оснащены самолеты американской и советской ПЛО.

И все же маловероятно, что такие устройства станут применяться когда-нибудь для обнаружения подводных лодок на больших расстояниях. (Для операций ПЛО локального характера, возможно, найдут применение устройства обнаружения с небольшим радиусом действия на сверхпроводниках.) Интенсивность сигнала, создаваемого магнитной аномалией, обратно пропорциональна кубу

расстояния, поэтому даже значительное повышение чувствительности датчиков не приведет к существенному увеличению расстояния, на котором можно обнаружить подводную лодку. Однако главным фактором, ограничивающим возможности детектора магнитных аномалий, является «шум». Для детекторов, размещаемых на самолетах, основные источники шума — это природные скопления железа и случайные флуктуации геомагнитного поля, особенно на солнечной активности. Возмущения геомагнитного поля, особенно на высоких широтах (где, как предполагается, сосредоточены советские ПЛАРБ), могут быть настолько сильными, что они маскируют присутствие подводных лодок.

Учитывая достижения в снижении шумов подводных лодок и ограниченные возможности детекторов магнитных аномалий, в США и СССР проводятся исследования по применению других физических принципов для обнаружения подводных лодок. Хотя в настоящее время еще не ясно, возможно ли создание устройств, основанных на неакустических методах обнаружения объектов, военное значение этих устройств требует, чтобы на этом направлении были сконцентрированы максимальные усилия. Особенно это касается систем космического базирования, способных следить за подводными лодками в глобальных масштабах.

В БОЛЬШЕЙ ЧАСТИ спектра морская вода непрозрачна для электромагнитного излучения, однако зелено-голубой свет может распростра-

няться в ней на довольно большое расстояние. Это дает возможность обнаруживать подводные лодки оптическими методами — по отражению или поглощению зелено-голубого света корпусом лодки. Соответствующая система могла бы работать как радар: лазер посылает к поверхности океана мощный импульс зелено-голубого света, а приемник регистрирует его отражение. По времени распространения импульса туда и обратно можно определить расстояние между лазером и объектом, отразившим импульс. Если же поверхность подводной лодки поглощает свет лазера сильнее, чем окружающая вода, то в поле рассеянного света лодка обнаружит себя как «дыра».

Такие оптические системы будут, вероятно, регистрировать множество ложных целей, поскольку под водой в океане имеются не только подводные лодки, но и другие объекты, например киты. Тем не менее лазерная система этого типа, по-видимому, уже применяется в Швеции для обнаружения подводных лодок в своих территориальных водах (наблюдения ведутся с самолета), но насколько она эффективна, пока неизвестно. Для системы космического базирования ограничивающими факторами будут существенно большее рассеяние и поглощение света в атмосфере, особенно при наличии облачности.

Другие возможности обнаружения подводных лодок определяются тем, что современные подводные лодки оставляют различные характерные «следы». Частицы краски, смываемые с корпуса лодки, мельчайшие количества радиоактивных веществ, ко-

которые выбрасываются в воду через систему охлаждения реакторов (на атомных лодках), и другие «выделения» образуют отчетливый химический след, демаскирующий подводную лодку. Для обнаружения таких следов потребуется измерять очень низкие концентрации загрязняющих веществ в пробах, которые следует брать на разных глубинах по всей акватории океана. Пока остается не известным, возможно ли вообще такое обнаружение примесей, но, даже если это и осуществимо, такой путь не позволяет создать дистанционную систему, необходимую для одновременного слежения за многими подводными лодками на большой акватории.

Более обнадеживающим представляется метод обнаружения лодки по ее тепловому излучению. На атомной подводной лодке превращение тепловой энергии, вырабатываемой ядерным реактором, в механическую энер-

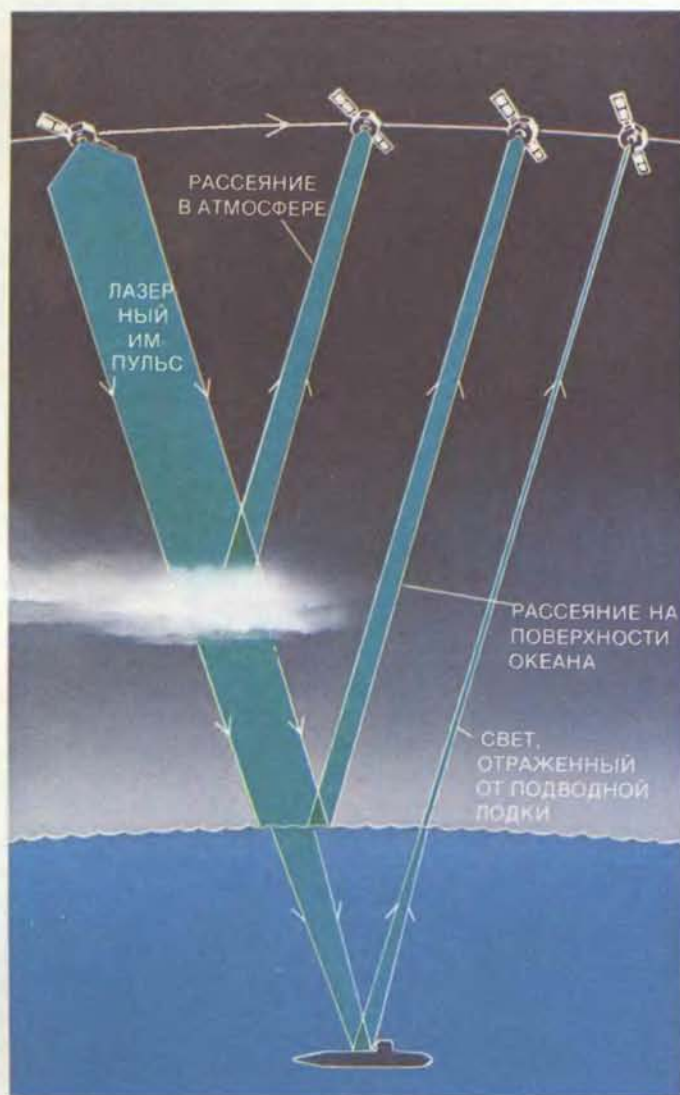
гию обеспечивается циркулирующей воды через нагреватель, паровую турбину и систему охлаждения (для которой холодильником служит морская вода). Вследствие этого движущаяся подводная лодка оставляет за собой след более теплой воды.

Хотя лодка, на которой установлен реактор мощностью 190 МВт, отдает морской воде 45 млн. кал в секунду при скорости 5 узлов, это рассеиваемое тепло повышает температуру воды непосредственно за лодкой менее чем на $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Из-за перемешивания теплой струи с окружающей водой эта разница температур быстро уменьшается. На расстоянии 1 км за лодкой, движущейся с обычной скоростью, она уже составляет всего $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$.

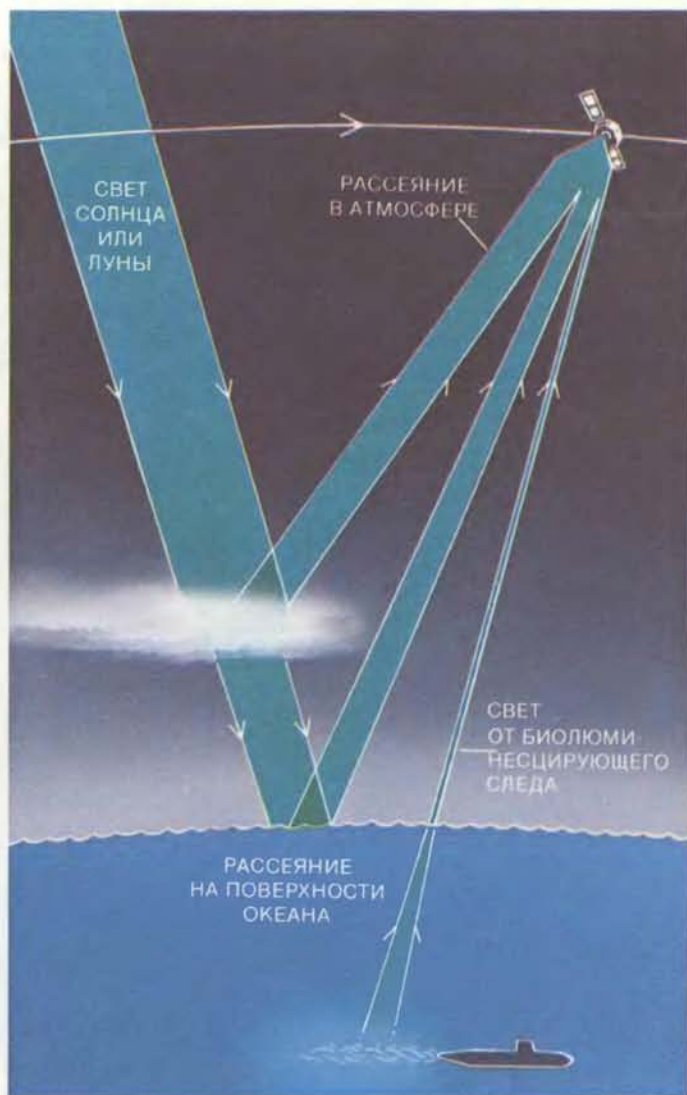
Кроме того, слегка нагретая вода не слишком быстро поднимается к поверхности, где самолетные или спутниковые датчики в принципе мо-

гли бы обнаружить слабое повышение температуры. Причина заключается в том, что температура воды в море возрастает (а ее плотность соответственно уменьшается) с приближением к поверхности. Поэтому более теплая вода в следе подводной лодки, поднявшись всего на несколько метров, попадает в слой воды с такой же плотностью и ее дальнейший подъем прекращается.

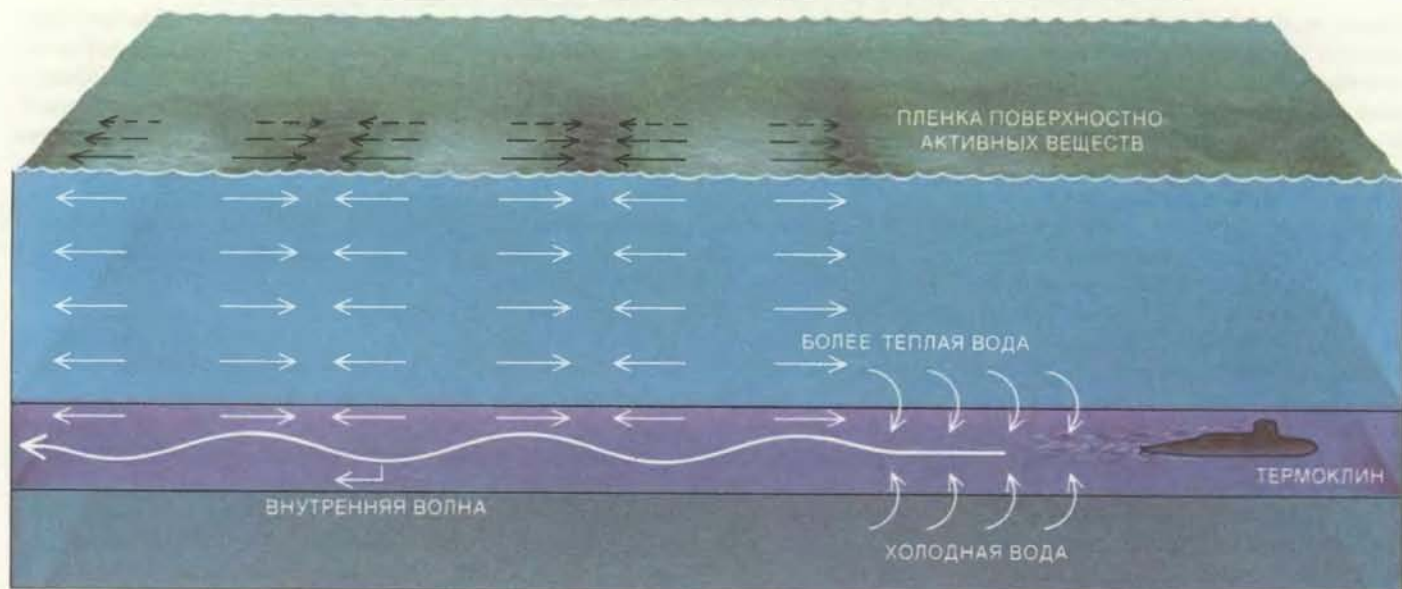
Исключение составляет тот случай, когда подводная лодка медленно движется в арктических водах, где температура примерно постоянна по глубине. Вместе с тем известно, что советские подводные лодки используют маневр, состоящий в том, что лодка прижимается к нижней поверхности ледяного покрова — так называемое прилипание ко льду. Это позволяет лодке сохранять свое положение, не работая винтами, даже при наличии течений; прилипание ко льду позволя-



ПОГЛОЩЕНИЕ И РАССЕЯНИЕ СВЕТА атмосферой и в особенности океаном существенно уменьшает величину оптического сигнала, в качестве которого может использоваться либо отраженный от лодки лазерный импульс (слева), либо вынужденная люминесценция



морских организмов (справа). Кроме того, свет, рассеянный от лазерного импульса или от естественных источников, образует сильный «фон», из которого оптическая система обнаружения подводных лодок, размещаемая в космосе, должна выделить полезный сигнал.



КОНВЕРГЕНЦИЯ И ДИВЕРГЕНЦИЯ, или схождение и расхождение течений (стрелки), вызываемые внутренними волнами, влияют на распределение пленок поверхностно-активных веществ, ПАВ (нефти и органических жидкостей, которые всегда есть на поверхности океана), приводя к образованию характерных «полос», которые можно увидеть с воздуха или из космоса. Внутренние волны — это периодические колебания воды в термоклине — слое резкого вертикального изменения

температуры и плотности воды. Волны возникают при любом вынужденном смещении объема воды вверх или вниз в термоклине, в частности при коллапсировании турбулентного следа подводной лодки. И течения, и полосы пленок ПАВ могут влиять на амплитуду и длину волн ряби на поверхности воды, что в свою очередь вносит изменения в излучательную и отражательную способность морской поверхности в микроволновом диапазоне.

ет также выключать на ней активный сонар, который в противном случае пришлось бы использовать, чтобы избежать столкновений с выступающими краями льда. Однако за исключением того режима, когда реактор работает с совсем малой нагрузкой, нагреваемая вода должна подниматься к поверхности льда, что дает возможность обнаружить присутствие подводной лодки.

В методах дистанционного обнаружения участков воды с повышенной температурой должны использоваться специальные датчики, которые измеряют излучение воды в инфракрасном и в микроволновом диапазонах, возрастающее при повышении температуры воды. Некоторые спутники уже сейчас оснащены такими датчиками. Однако тепловая «ропись», оставляемая подводной лодкой на поверхности воды, чрезвычайно бледна и обнаружить ее на фоне довольно сильного инфракрасного и микроволнового излучения атмосферы — задача не из легких.

ПОМИМО ТОГО, что подводная лодка производит шум, возмущает локальное геомагнитное поле и выделяет тепло, она также вытесняет воду. Если лодка движется с высокой скоростью вблизи поверхности, она создает над собой характерный горб воды (иногда называемый горбом Бернулли), а позади себя — отчетли-

вый V-образный волновой след, образованный так называемыми волнами Кельвина. (Волны Кельвина можно также наблюдать в кильватере надводного судна.)

Размеры горба Бернулли и волнового следа быстро убывают с уменьшением скорости лодки и увеличением глубины погружения. Так, высота горба над достаточно большой подводной лодкой, движущейся со скоростью 20 узлов на глубине 50 м, составляет около 6 см, а волн Кельвина — 2 см. Горб Бернулли, создаваемый той же подводной лодкой при скорости 5 узлов на глубине 100 м, едва ли можно назвать горбом, поскольку он имеет высоту всего 1 мм; амплитуда волн Кельвина в этом случае пренебрежимо мала. На поверхности океана могут возникать и другие гидродинамические явления, например вихри, создаваемые корпусом лодки и рулями управления. Однако, если командир подводной лодки принимает должные меры предосторожности при выборе глубины плавания и скорости движения, возмущения поверхности, создаваемые подводной лодкой, вряд ли можно обнаружить.

Существует все же одно косвенное проявление гидродинамических возмущений, создаваемых подводной лодкой, поддающееся обнаружению. Океан населен люминесцирующими организмами, которые, если их потревожить, испускают голубое или

зелено-голубое свечение. Движущаяся подводная лодка создает за собой турбулентный след, освещаемый этими организмами.

Возможность обнаружения светящегося следа представляет интерес, поскольку этот след может быть замечен с воздуха или из космоса. Хотя зелено-голубой свет поглощается морской водой слабее, чем электромагнитное излучение с другими длинами волн, его интенсивность уменьшается в два раза на каждые 7—14 м пути распространения. Поэтому интенсивность света, достигшего поверхности воды с глубины 50 м, составляет только 1/40 своего первоначального значения, а с 200-метровой глубины — менее одной миллионной.

Если бы биолюминесценция вызывалась только непосредственным контактом между подводной лодкой и светящимися организмами, опасность генерации различимого биолюминесцентного сигнала была бы невелика, так как это свечение возникало бы лишь на большой глубине. Однако светящийся след может образовываться и вблизи поверхности. Хотя турбулентный след, вообще говоря, может подниматься, вследствие чего биолюминесцентный сигнал будет возбуждаться вблизи поверхности, гораздо более вероятно, что след коллапсирует позади лодок вследствие устойчивой стратификации плотности воды в океане. Биолюминесцент-

ный сигнал может достигать поверхности в том случае, если свечение организмов, вызванное прямым контактом с корпусом подводной лодки, инициирует свечение организмов в вышележащих слоях. Такую «эстафетную» передачу сигналов между светящимися организмами можно наблюдать в природе, однако пока нет определенного ответа на вопрос, позволяет ли это явление определять точное местонахождение погруженной подводной лодки. Географические, сезонные и вертикальные вариации в распределении таких организмов до сих пор почти не изучены.

Даже если ответы на эти вопросы будут получены, останется сложная проблема создания системы обнаружения, основанной на биолюминесценции. Такая система должна отличаться аномальный биолюминесцентный след от фоновой биолюминесценции. Существует и другая, едва ли не более мощный источник шума: зелено-голубая компонента солнечного и лунного света. Рассеяние солнечного света в океане и атмосфере настолько велико, что самолетная или спутниковая система, предназначенная для обнаружения биолюминесценции, сможет работать лишь в ночных условиях.

Наибольший интерес у специалистов, разрабатывающих методы обнаружения подводных лодок, вызывает такое явление в океане, как внутренние волны. Внутренние волны — это периодические колебания плотности и температуры воды в термоклине — слое океана, где происходит резкое уменьшение температуры и возрастание плотности. В открытом океане термоклины располагаются обычно на глубине около 200 м.

Объем воды в термоклине, смещенный вверх или вниз, будет испытывать влияние сил плавучести, действующих в направлении, обратном смещению. Поэтому возмущение, возникающее в термоклине, порождает колебания плотности и температуры, которые распространяются из области возмущения в виде волн. Частота этих волн известна как частота Брента—Вяйсялля, а величина, обратная ей (период волны), служит фундаментальным временным масштабом, определяющим колебательные движения в термоклине. Величина периода Брента—Вяйсялля может сильно меняться как в пространстве, так и во времени, но обычно она лежит в пределах от 10 до 100 мин. Первоначальное вертикальное смещение воды, которое порождает внутренние волны, может быть обусловлено различными факторами, к которым относятся вариации атмосферного давления, океанские течения и движение

подводных лодок.

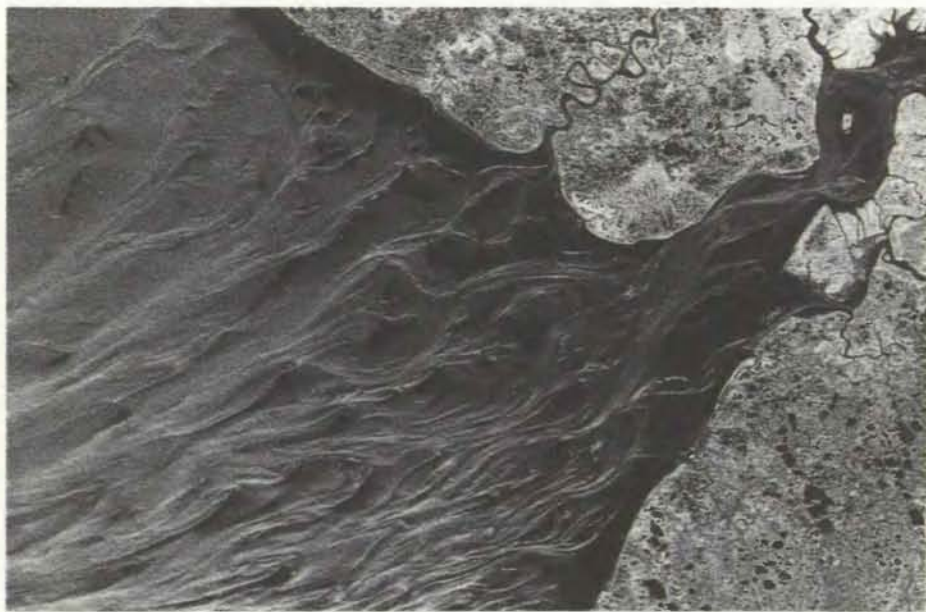
С помощью оптических методов можно следить за смещениями слоев микроорганизмов, рассеивающих свет. Поскольку такие слои должны колебаться при прохождении внутренних волн, оптические методы могут применяться для обнаружения внутренних волн, создаваемых подводной лодкой, хотя распределения и свойства биологических рассеивателей пока не каталогизированы. В настоящее время изучается также возможность обнаружения подводных лодок по слабым поверхностным эффектам, которые вызываются внутренними волнами и при определенных условиях становятся видимыми. Внутренняя волна порождает на поверхности моря или вблизи нее горизонтальные течения, которые изменяются в фазе с волнами. Над гребнем внутренней волны течение направлено навстречу волне, над впадиной — в направлении ее распространения. В силу этого поверхностные течения над внутренней волной сходятся и расходятся (испытывают конвергенцию и дивергенцию).

В местах конвергенции течений поверхностная пленка нефти или других органических жидкостей, известных под названием поверхностно-активных веществ (ПАВ), стягивается, образуя характерные полосы. Хотя механизм, ответственный за это явление, до конца не понят, поверхностные полосы и поверхностные течения, порождаемые интенсивными

внутренними волнами, могут создавать крупномасштабные структуры в картине ряби на поверхности воды вследствие модуляции амплитуды и длины волн ряби.

КАК РАЗЛИЧИТЬ такие структуры на поверхности океана? Спутник Seasat, запущенный в 1978 г. и предназначенный для съемки поверхности океана, открыл ученым то, что специалистам, работающим по заказу правительства, вероятно, уже было известно: поверхностные структуры, связанные с течениями, рельефом дна и внутренними волнами, т. е. явлениями и объектами много ниже поверхности океана, хорошо заметны на изображениях поверхности, полученных с помощью спутникового микроволнового радара с синтезированной апертурой. Радар посылает микроволновые импульсы наклонно к Земле и перпендикулярно орбите. Импульсы следуют один за другим, «освещая» широкую полосу земной поверхности (100 км у спутника Seasat) микроволновым излучением, часть которых отражается назад к спутнику.

Расстояние до объекта, попавшего в поле «зрения» радара, измеряется временем распространения импульса туда и обратно. Одинаково удаленные объекты сравниваются между собой по доплеровскому сдвигу частоты отраженного импульса (изменению частоты, обусловленному движением спутника относительно объекта); сигнал, отраженный от объек-



СНИМОК, сделанный со спутника Seasat, запущенного в 1978 г., обнаруживает на поверхности воды прядеобразные структуры, отражающие, по-видимому, сложную картину подводных течений, влияние рельефа дна и, возможно, даже внутренние волн на многометровой глубине (изображен район близ устья реки Кускоквим на Аляске). Изображение получено путем обработки данных микроволнового радара с синтезированной апертурой (см. рисунок на с. 12) и имеет разрешение 25 м.

та, который находится впереди спутника, имеет большую частоту, а сигнал от объекта, находящегося позади спутника, — меньшую. Каждая точка на полосе, «заметаемой» радаром, дает отраженный сигнал, регистрируемый на нескольких «снимках», которые радар делает за небольшой интервал времени при движении по орбите. Если замеченные объекты не успевают значительно переместиться за это время, эффективная апертура радара (мера разрешающей способности радара, определяемая обычно длиной антенны) оказывается намного больше, чем длина микроволновой антенны.

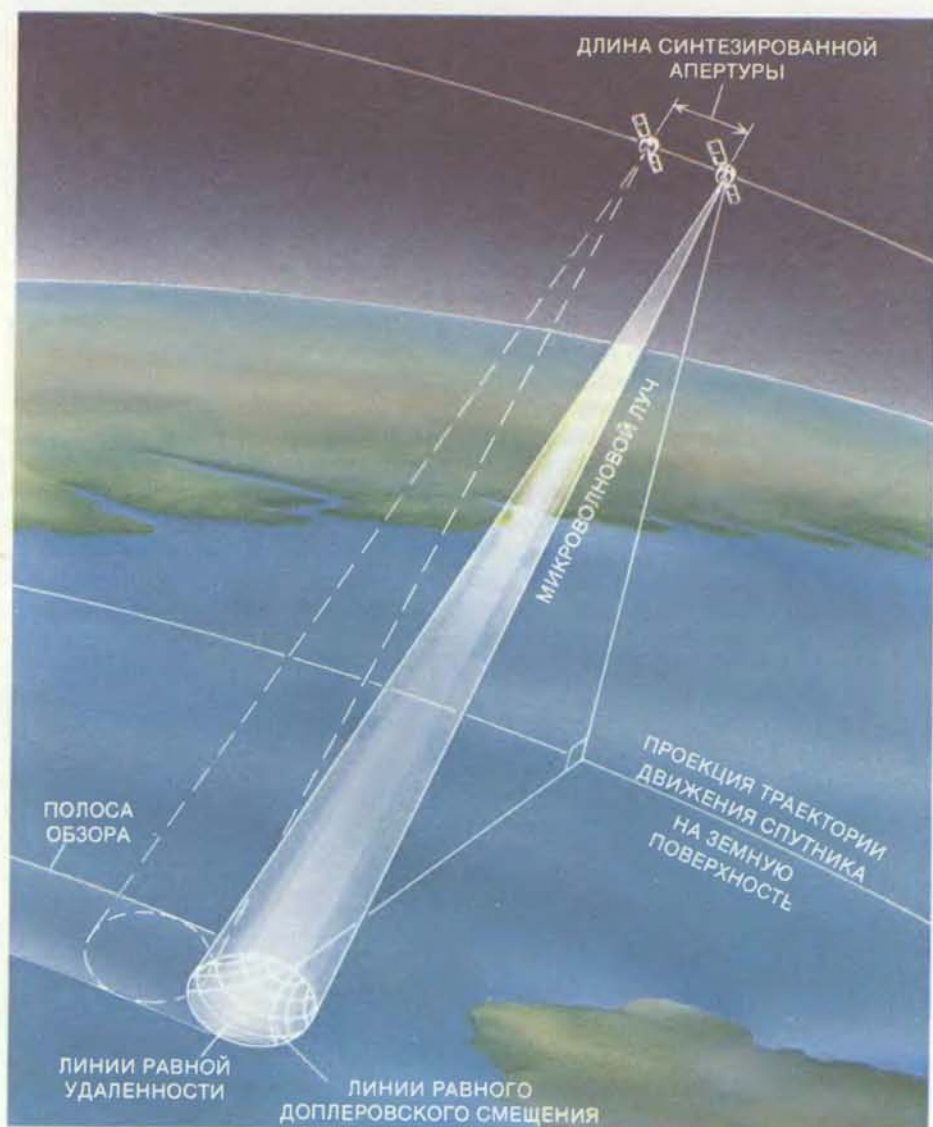
Хотя снимки, полученные со спутника Seasat, подтвердили, что при определенных условиях радар с синтезированной апертурой может обнаружить модуляцию ряби на морской поверхности, механизм этого явления еще недостаточно изучен. Наиболее распространенное объяснение состоит в том, что интенсивность сигнала, отраженного от поверхности моря, описывается теорией рассеяния Брэгга. Из этой теории следует, что в результате интерференции микроволны усиливаются, если они отражаются от регулярных структур с расстоянием между элементами, равными длине волны микроволнового излучения,

и ослабевают при отражении от всех других структур. Несмотря на то что экспериментальных данных в этой области определенно не хватает, ясно, что объяснить отражение микроволн от океанской поверхности одним лишь рассеянием Брэгга нельзя. Существуют теоретические модели, которые лучше описывают экспериментальные данные, так как основываются на более общем описании обратного рассеяния.

Помимо вопросов, связанных с выбором модели обратного рассеяния, возможность использования радара с синтезированной апертурой в военных целях зависит от того, удастся ли получать и обрабатывать изображения в реальном масштабе времени, т. е. сразу же после приема отраженных сигналов. Изображения морской поверхности могут быть получены либо путем цифровой обработки сигнала, либо с помощью оптической техники, в которой используются системы линз, чтобы обрабатывать сигналы в аналоговом виде. Хотя цифровая обработка обладает большей гибкостью, оптический метод работает быстрее и может оказаться более подходящим для специализированного спутника, предназначенного для съемки океанской поверхности. В дополнение к сказанному потребуется довольно хитроумная процедура распознавания образов, для того чтобы отличать структуры, создаваемые внутренними волнами, которые порождены подводной лодкой, от структур естественного происхождения.

Другим методом, позволяющим измерять неровность морской поверхности, является метод пассивной микроволновой радиометрии. Он состоит в измерении собственного микроволнового излучения от морской поверхности. Это излучение в данном диапазоне частот зависит не только от температуры воды, но и от излучательной способности поверхности, которая в свою очередь зависит от неровности поверхности и наличия на ней пленок ПАВ. Советские исследования в области дистанционного микроволнового зондирования показывают, что сочетание активных систем, таких как радары, с пассивными системами может повысить возможности обнаружения поверхностных эффектов, порожденных подводными объектами и явлениями.

ЕСЛИ БЫ возникающие при прохождении подводной лодки поверхностные эффекты можно было регистрировать с помощью устанавливаемого на спутнике радара, — а на сегодняшний день эта возможность



РАДАР С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ, размещаемый в космосе, посылает импульсы когерентного микроволнового излучения под углом к поверхности Земли и регистрирует отраженное излучение. Задержка между посылаемым импульсом и отраженным определяет расстояние до объекта. Равноудаленные объекты находятся на дугах окружности с центром в точке, расположенной прямо под радаром. Доплеровский сдвиг частоты отраженного сигнала (изменение частоты, вызываемое движением радара относительно отражающего объекта) помогает различать равноудаленные объекты, поскольку объекты, дающие один и тот же доплеровский сдвиг, лежат на ветвях гиперболы с фокусом в точке, расположенной непосредственно под радаром. Пересекающиеся дуги служат по существу координатными осями, позволяющими определить местоположение объекта.

остается чисто гипотетической, — на передний план вышла бы трудно разрешимая проблема слежения за целью на фоне ложных сигналов и естественных шумов. Даже применение таких систем, как детекторы магнитных аномалий и сонары, которые за несколько десятков лет были значительно усовершенствованы, чрезвычайно ограничено в связи с указанной проблемой. Кроме того, нельзя исключать и потенциальных контрмер, которые могут быть приняты противником, хотя для разработки таких эффективных контрмер необходимо знать, какие механизмы лежат в основе функционирования систем обнаружения. Контрмеры могут быть нескольких видов: изменение тактики, разбрасывание ложных целей и глушение (генерация мощных искусственных шумов).

Из-за того что неакустические системы обнаружения подводных лодок окажутся, вероятно, очень сложными, вначале их скорее всего будут приспособлять для самолетов, которые могут держаться ниже слоя облачности, совершать многократные облеты одного и того же района, и возвращаться на базу для обслуживания и ремонта. Объем подлежащих обработке данных, получаемых с помощью систем, установленных на самолетах, значительно меньше, чем в случае спутниковых систем, так как измерения охватывают небольшой участок поверхности. Поскольку советская сторона делает акцент на защите ПЛАРБ от американских ударных подводных лодок в своих водах, у нее есть дополнительные основания начать с применения неакустических систем в малых масштабах у Арктического и Тихоокеанского побережья СССР.

Если бы разведывательные службы США были хорошо осведомлены о фундаментальных принципах неакустического обнаружения подводных лодок, они могли бы предвидеть те технические усовершенствования, на которых — на ранних стадиях разработки и развертывания систем обнаружения — сосредоточит внимание советская сторона. По мнению бывшего директора военно-морской разведки С. Шапиро, трудно узнать что-либо о состоянии дел в Советском Союзе по разработке неакустических методов, когда работы только планируются или ведутся в лабораториях, но «легко собирать информацию... когда [Советский Союз] внедряет или испытывает что-нибудь».

Следует помнить и о том, космические платформы, несущие системы обнаружения, имеют большие размеры и могут быть легко опознаны. Для того чтобы охватить всю Северную

Атлантику и северную часть Тихого океана, вероятно, потребуется много спутников.

Судя по данным, содержащимся в открытой литературе, прорыва в разработке средств обнаружения подводных лодок пока не предвидится. Одновременно остаются неизвестными ответы на фундаментальные вопросы, связанные с возможностью регистрации подповерхностных движений воды. Не имея ответа на эти вопросы, мы не можем отвергнуть, на

пример, идею применения микроволнового радара для обнаружения подводных лодок. Таким образом, требуется проведение широких исследований, в том числе и фундаментальных исследований открытого характера, для того чтобы убедить правительство и общественность в том, что морские стратегические силы будут оставаться трудно уязвимыми — в особенности если США и СССР договорятся о значительных сокращениях в области стратегических вооружений.

Книги издательства „Мир“

В. Маршелл

ОСНОВНЫЕ ОПАСНОСТИ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Перевод с английского

Книга посвящена весьма актуальной, интенсивно развиваемой области человеческой деятельности — обеспечению безопасности промышленности.

Обсуждаются методологические вопросы — выявляются потенциальные опасности современных промышленных предприятий, обусловленные тенденциями развития промышленности; исследуется природа опасностей и риска. Описываются физические и химические закономерности возникновения и эволюции главных факторов неустойчивости химических производств — нарушений герметичности устройств для хранения и работы с опасными веществами. Рассматриваются аварии промышленных предприятий, вызываемых данными факторами неустойчивости, трех основных классов: крупные пожары, аварии со взрывами, токсические аварии. Обсуждаются основные этапы оценки риска — получение ко-

личественных мер опасности, анализа риска и законодательных методов управления уровнем безопасности.

Книга будет полезной как практикам (конструкторам, проектировщикам, инженерам по обеспечению и надзору за безопасностью), так и научным работникам (физикам, химикам, системным анализаторам, юристам), а также аспирантам и студентам соответствующих специальностей.

Из отзыва академика Ю. Д. Третьякова: «В книге на высоком уровне представлены узловые вопросы промышленной безопасности. Данная работа является одной из лучших и самой современной. К несомненным достоинствам книги следует отнести то, что она содержит исключительно много фактического материала по безопасности, осмысленного с практических, инженерных позиций».

Предварительные заказы направляйте в магазины, распространяющие научнотехническую литературу до 1 июля 1988 г.
Издательство заказы не принимает.
1989, 47 л. Цена 3 р. 50 к.



Гравитация и антивещество

И Ньютон, и Эйнштейн утверждали, что гравитационное ускорение объекта не зависит от его массы и состава.

Современные представления меняют эту точку зрения; проверкой новых предположений мог бы стать эксперимент с антипротонами

ТЕРРИ ГОУЛДМАН, РИЧАРД ДЖ. ХЬЮЗ, МАЙКЛ
МАРТИН НИЕТО

НИКОГДА НИКОГДА не наблюдал, как падает одиночная частица антивещества. Тем не менее большинство физиков полагают, что она должна падать подобно объекту из обычного вещества. Их аргументы основаны на двух хорошо установленных положениях: принципе эквивалентности и квантовомеханической симметрии между веществом и антивеществом. В настоящее время такая аргументация поставлена под сомнение тем, что первое из этих положений, принцип эквивалентности, возможно, неверен. Действительно, все современные попытки объединить гравитацию с другими фундаментальными взаимодействиями в согласованную единую квантовую теорию предсказывают существование новых взаимодействий, по силе сравнимых с гравитацией, что должно привести к ряду новых эффектов, в том числе к нарушению принципа эквивалентности.

Недавно такие эффекты, возможно, уже наблюдались в экспериментах. В опытах с обычным веществом в поле тяготения Земли они малы, однако действие новых сил на антивещество могло бы приводить к заметным аномалиям. Эксперимент по измерению гравитационного ускорения антивещества может иметь большое значение для понимания квантовой природы гравитации. Мы являемся членами международной научной группы, которая была создана для проведения именно такого эксперимента.

Если будет обнаружено, что принцип эквивалентности нарушается, это станет знаменательным событием в истории физики, поскольку на нем, как на фундаменте, покоятся теории гравитации и Ньютона, и Эйнштейна. Согласно принципу эквивалентности, два пробных тела в гравитационном поле падают с одинаковыми ускорениями независимо от их массы и состава. Впервые он был сформулирован в такой форме еще Галилеем, который основывался на результатах

экспериментов с наклонными плоскостями и некоторых математических расчетах движения падающих тел. Эйнштейн, в специальной теории относительности установивший, что масса эквивалентна энергии, в общей теории относительности применил этот принцип не только для объектов, имеющих массу покоя, но расширил его на все виды энергии, в том числе свет. В 1919 г. смелая догадка Эйнштейна была экспериментально подтверждена А. Эддингтоном, который во время солнечного затмения обнаружил отклонение света звезды в поле тяготения Солнца.

С открытием в 1932 г. позитрона (антиэлектрона) возник новый вопрос: подчиняется ли антивещество тем же физическим законам, что и обычная материя? Ответ был получен еще в 1951 г. в СРТ-теореме Г. Людерса, который доказал, что при математических операциях, переводящих описание частицы в описание ее античастицы, законы физики не изменяются. Следовательно, в общей теории относительности гравитационные взаимодействия между частицами и античастицами не различаются; значение имеет лишь энергия частиц. Поскольку энергия изолированной античастицы такая же, как энергия соответствующей ей частицы, антивещество должно падать в поле тяготения Земли точно так же, как обычное вещество.

Этот вывод справедлив, если предположить, что общая теория относительности Эйнштейна есть истина в последней инстанции, т. е. теория гравитации, которая не подлежит сомнению. Тем не менее в последнее время многие физики выдвинули альтернативные гипотезы, согласно которым в гравитационном взаимодействии могут участвовать некоторые другие физические характеристики вещества, отличные от энергии, например квантовое число. С этой точки зрения СРТ-теорема может только утверждать, что антияблоко должно падать на антиземлю точно

таким же образом, как яблоко падает на Землю. И ничего нельзя сказать о том, как падает антияблоко на Землю, состоящую из обычного вещества. Другими словами, не следовало бы считать, что принцип эквивалентности справедлив для антивещества. Такой вывод не должен быть неожиданным, поскольку две фундаментальные теории — гравитация и квантовая механика, на которых основаны традиционные аргументы в пользу этого принципа, никогда еще не были удовлетворительно объединены в единую теорию.

Объединение квантовой механики и гравитации стало поистине «священ-



ГАЛИЛЕЙ (в центре фрески) объясняет равномерность ускорения шара, скатывающегося вниз по наклонной плоскости. Такие эксперименты привели его к выводу о том, что если

ным граалем» физиков XX в. Пока еще никто не достиг успеха в этом направлении, но знаменательно, что все наиболее реалистические на сегодня теории предсказывают новые типы гравитационных взаимодействий, которые могут заставить античастицу падать на Землю отлично от обычной частицы. Несколько лет назад мы предложили измерить гравитационное ускорение антипротона. С помощью такого эксперимента можно было бы однозначно проверить, существуют ли новые виды гравитационного взаимодействия. В настоящее время создается экспериментальная установка, и если все будет идти, как мы планируем, результаты могут быть получены в начале 1991 г.

ТОЛЬКО недавно исследователи, опираясь на новые эксперименты и теоретические концепции, обнаружили определенные аномалии, позволяющие предполагать, что при некоторых условиях принцип эквивалентности может быть нарушен. Однако в течение нескольких столетий физики имели достаточно веские основания не подвергать сомнению этот принцип: было проведено много весьма строгих проверок принципа эквивалентности, доказавших его справедливость с очень высокой точностью.

Еще Ньютон экспериментально проверил принцип эквивалентности. Для понимания его эксперимента необходимо пояснить следующее. Ньютон ввел понятия масс двух типов. В сформулированном им втором законе механики сила, действующая на тело, равна инертной массе, умноженной на ускорение. В его законе тяготения сила притяжения между двумя объектами пропорциональна произведению их гравитационных масс и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними (поэтому его называют также законом обратных квадратов). Инертная масса есть кинематическая величина, характеризующая движение. Гравитационная масса есть «заряд»: объект «ощущает» действие гравитационной силы пропорционально его гравитационной массе точно так же, как он должен был бы «чувствовать» электромагнитную силу пропорционально его электрическому заряду.

Хотя эти понятия совершенно различны, Ньютон полагал, что два типа масс, инертная и гравитационная, эквивалентны друг другу. Для экспериментальной проверки этой идеи он использовал маятники. Период колебаний маятника равен произведению двух сомножителей: первый определяется его длиной, а второй зависит

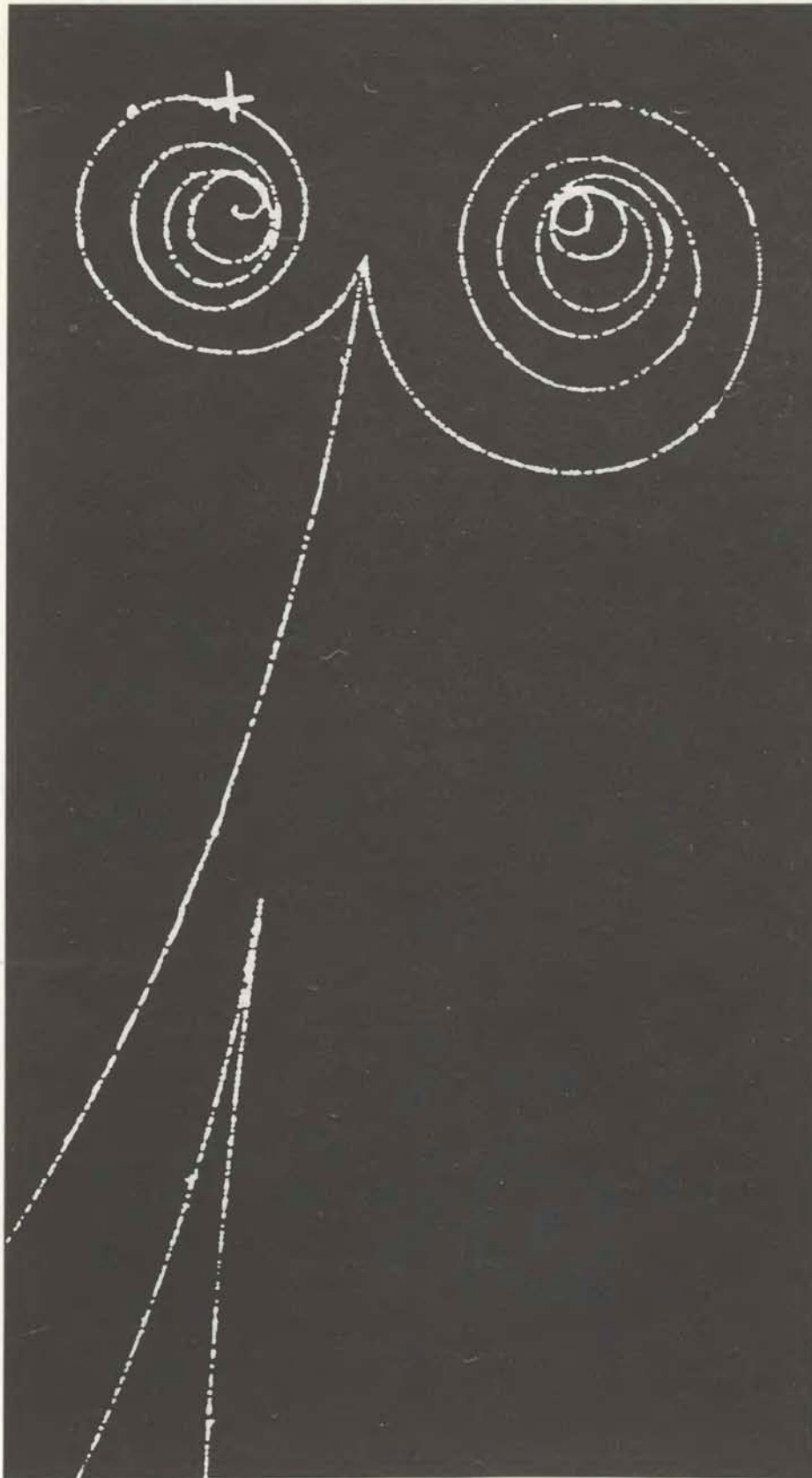
от отношения инертной массы к гравитационной. Ньютон нашел, что период колебаний маятника определяется только его длиной и что отношение двух типов масс всегда равно единице; другими словами, гравитационная и инертная массы равны. В этих опытах Ньютон проверил принцип эквивалентности с точностью $1 \cdot 10^{-3}$. (В конце 20-х годов прошлого века Ф. Бессель провел эксперименты, которые повысили точность измерения до $1,7 \cdot 10^{-5}$.)

СЛЕДУЮЩИЙ успешный шаг в проверке принципа эквивалентности был сделан венгерским физиком Р. Этвешем. В 80-х годах прошлого века он сконструировал крутильные весы и осуществил серию экспериментов по измерению вариаций поля тяготения Земли. Он мог проводить съемку локальных гравитационных полей и на основании ее делать выводы о локальном распределении аномальных масс, наиболее интересные из которых были связаны с месторождениями полезных ископаемых. Крутильные весы Этвеша были настолько точны, что, несмотря на довольно большое время, необходимое для каждого измерения, оставались основным геофизическим инструментом даже в нашем столетии.



предметы, имеющие различные массу и состав, падают с некоторой высоты, они должны одновременно достигнуть поверхности земли. Этот фундаментальный для гравитационной теории принцип эквивалентности воплощен в дошедшей до нас истории, описывающей, как Галилей бро-

сал два камня с падающей Пизанской башни (виднеется вдали). При проверке принципа эквивалентности будет измеряться гравитационное ускорение антипротонов. Согласно теории супергравитации и теории суперструн, антипротоны должны падать быстрее, чем протоны.



ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННАЯ ПАРА оставляет в камере Вильсона след с раздвоенной спиралью. Рожденные при сильном столкновении гамма-лучей с ядром водорода, электрон и его античастица имеют одинаковую массу, но противоположные электрические заряды и поэтому в магнитном поле камеры «закручиваются» в противоположных направлениях. Частицы и античастицы имеют противоположные квантовые числа; следовательно, если есть достаточное количество энергии, способное сохранить импульс и обеспечить массу (в соответствии с соотношением $E = mc^2$), то они могут рождаться парами, поскольку их результирующее квантовое число будет равно нулю. Частица и античастица могут также аннигилировать с выделением энергии. Антипротоны получают на ускорителях при бомбардировке мишеней высокоэнергетическими частицами.

Этвеш понимал, что крутильные весы могут быть использованы для проверки принципа эквивалентности, если два пробных тела из различных материалов поместить на противоположных концах коромысла. Суммарная сила, действующая на каждое пробное тело, есть комбинация силы притяжения Земли, пропорциональной гравитационной массе тела, и центробежной силы, обусловленной вращением Земли и пропорциональной его инертной массе. Под действием этих сил, а также упругой силы закрученной нити весы устанавливаются в некотором положении равновесия. Если отношения инертной и гравитационной масс для различных пробных тел не будут равны друг другу, возникнет дополнительная anomalous сила, действующая на крутильные весы и они должны будут повернуться.

В 1890 г. Этвеш опубликовал результаты экспериментов, показывающие равенство гравитационной и инертной масс для нескольких разных веществ с точностью около $5 \cdot 10^{-8}$. Он продолжил эту работу и в 1909 г. сделал вывод о том, что предел точности в его экспериментах составляет $5 \cdot 10^{-9}$. Найденные в опытах расхождения для различных материалов лежат ниже указанного предела, поэтому Этвеш приписал их экспериментальным ошибкам. (Ниже мы скажем об этом более подробно.)

В 60—70-х годах Р. Дикке и В.Б. Брагинский независимо осуществили подобные эксперименты, в которых измерялось отношение инертной и гравитационной масс для пробных тел, падающих в поле тяготения Солнца (а не Земли). В этих экспериментах принцип эквивалентности был подтвержден с точностью $5 \cdot 10^{-11}$ и $5 \cdot 10^{-12}$ соответственно. Аналогичная точность была достигнута для равенства инертной и гравитационной масс Земли и Луны по измерениям орбиты Луны относительно Земли (с учетом того, что система Земля—Луна вращается вокруг Солнца). В измерениях использовались угольковые отражатели, доставленные на поверхность Луны астронавтами экспедиции «Аполлон». Последний эксперимент неожиданно показал, что тяготение Солнца действует на гравитационную энергию Земли (связывающую вещество, из которого состоит наша планета, в единое астрономическое тело), т. е. что гравитация притягивает гравитацию.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ о том, что гравитационная энергия сама есть предмет действия сил гравитации, является следствием революции в физике, относящейся ко времени экспери-

ментов Эвеша и проявившейся в создании Эйнштейном специальной и общей теории относительности. Поскольку современная дискуссия по поводу существования новых сил, связанных с гравитацией, основана на попытках расширить эйнштейновскую теорию гравитации, полезно напомнить историю этой работы в некоторых деталях.

Общая теория относительности появилась в результате усилий Эйнштейна разрешить фундаментальное противоречие, возникшее при использовании ньютоновской концепции гравитации в специальной теории относительности. Хотя теория тяготения Ньютона полностью удовлетворяет большинству практических целей (таких, как полет человека на Луну), она неприемлема для физиков-теоретиков, поскольку предполагает, что гравитационное взаимодействие передается мгновенно на бесконечное расстояние и, таким образом, нарушает строгое требование специальной теории относительности, ограничивающее скорость всех явлений — движения объектов, энергий, распространения сил — скоростью света.

В классической релятивистской теории гравитации действие силы приводится в соответствие с требованием специальной теории относительности путем введения поля, которое переносит энергию и импульс между взаимодействующими частицами вещества (например, электронами и протонами) со скоростью, не превышающей скорости света. Таким образом, происходит обмен энергией и импульсом, переносимых полем, который создает силу, действующую на частицы. Например, колеблющиеся электроны в передающей антенне создают электромагнитное поле, которое распространяется в пространстве и вызывает силу, действующую на электроны в приемной антенне.

С появлением релятивистской теории поля физики смогли приступить к изучению возможных форм гравитационного поля. Максвелл, например, заметив, что силы, описываемые и законом тяготения, и законом Кулона, изменяются обратно пропорционально квадрату расстояния между объектами, пытался выяснить, можно ли его теорию электромагнетизма модифицировать так, чтобы описать гравитацию. Конечно, некоторые изменения необходимо было бы сделать, так как электромагнитное взаимодействие вызывает отталкивание между одноименными зарядами, а гравитационная сила — притяжение. Можно было бы изменить знак энергии поля на отрицательный, но построенная таким образом теория, как это сразу же увидел Максвелл, имеет

явный недостаток: в отрицательном поле система должна была бы приобретать энергию в процессе гравитационного взаимодействия и ее энергия увеличивалась бы бесконечно.

Первая математически согласованная релятивистская теория гравитации была создана Г. Нордстрёмом в 1913 г. еще до общей теории относительности Эйнштейна. Теория Нордстрёма соответствовала данным всех гравитационных экспериментов того времени. Эйнштейн и А. Фоккер установили, что уравнения гравитационных полей Нордстрёма описывают искривленное пространство-время

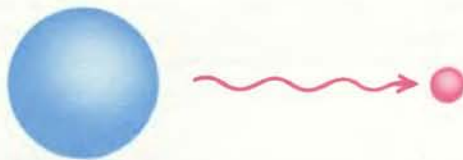
(это была попытка описать поверхность сферы как обычную плоскую поверхность) и показали, что более естественно описывать ее в сферических координатах. Таким образом, теория Нордстрёма произвольно дала идею об искривленном пространстве-времени.

В МОДЕЛИ Нордстрёма гравитационное поле действует только на объекты, имеющие массу покоя. Но, согласно специальной теории относительности, энергия эквивалентна массе. Естественен вопрос: почему энергия также не может быть объектом

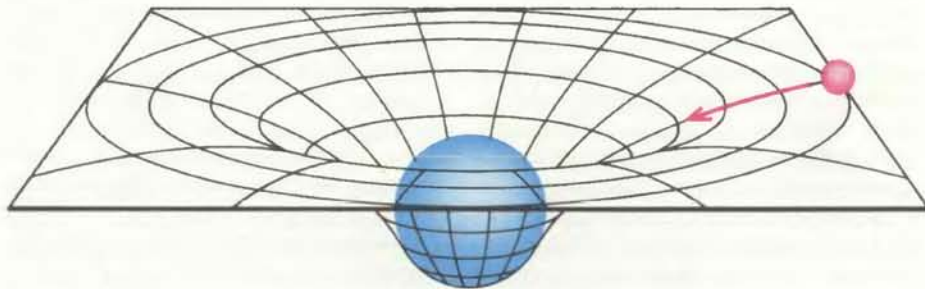
a НЬЮТОНОВСКАЯ ГРАВИТАЦИЯ



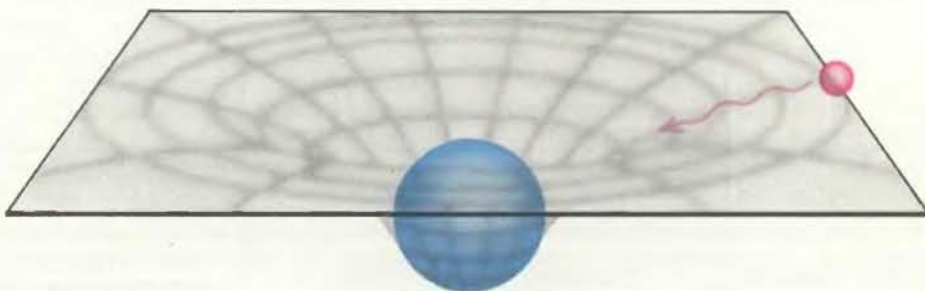
b КЛАССИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ПОЛЯ



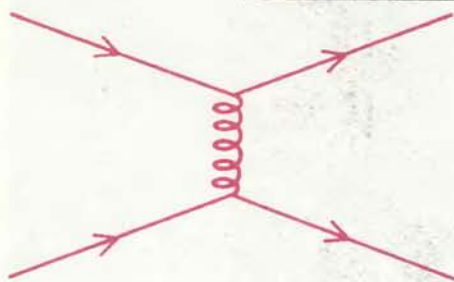
c ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ



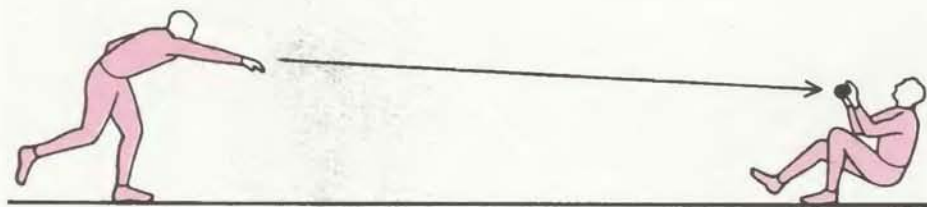
d КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА



ТЕОРИИ ГРАВИТАЦИИ описывают силу, действующую между двумя массами. Ньютон, установивший связь между величиной силы тяготения, массами объектов и расстоянием между ними, предполагал, что это взаимодействие распространяется мгновенно на расстояние (*a*). Однако в специальной теории относительности доказывается, что ни один объект не движется быстрее скорости света. В классической теории вводится понятие поля, которое передает силу с конечной скоростью (*b*). Эйнштейн показал, что полевые уравнения в случае гравитации описывают пространство-время, которое искривляется вблизи массивных объектов. В общей теории относительности Эйнштейна гравитация проявляется в том, что движение объекта происходит вдоль траектории, являющейся кратчайшим расстоянием в искривленном пространстве-времени (*c*). Согласно квантовой механике, путь объекта недетерминирован (*d*). До сих пор перед физиками стоит задача разрешить это несоответствие между квантовой теорией и общей теорией относительности.



ОБЛАСТЬ ДЕЙСТВИЯ СИЛ	
МАССИВНЫЕ ЧАСТИЦЫ	КОНЕЧНАЯ
БЕЗМАССОВЫЕ ЧАСТИЦЫ	БЕСКОНЕЧНАЯ (ЗАКОН ОБРАТНЫХ КВАДРАТОВ)



В КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ ПОЛЯ вводится понятие частицы — переносчика сил. Две взаимодействующие частицы обмениваются третьей частицей, которая переносит энергию и импульс от одной к другой, подобно тому, как брошенный мяч передает энергию и импульс от подающего игрока к принимающему. Частицы, имеющие массу, действуют в конечной области. Безмассовые частицы, такие, как фотоны (свет) и гравитоны (переносчики гравитации), действуют на бесконечных расстояниях.

действия гравитационных сил? Именно эта идея, которую Эйнштейн впоследствии назвал самой счастливой мыслью в своей жизни, легла в основу общей теории относительности.

Теория Эйнштейна предусматривает также кривизну пространства-времени вблизи массивных объектов. Кроме того, поскольку она описывает гравитационное поле, которое взаимодействует с энергией и импульсом так же, как с массой, в ней предсказывается, что гравитация должна действовать на безмассовые формы энергии, например на свет. Эйнштейн

предположил, что такой эффект можно проверить при измерении видимого смещения положения звезды вблизи лимба Солнца во время его затмения. Это предсказание было подтверждено в 1919 г. в результате экспедиции Эддингтона в Африку для наблюдения солнечного затмения. Теория Эйнштейна объяснила также аномальное смещение перигелия Меркурия и красное смещение излучения от звезд и планет (впоследствии проверенное в эксперименте Паунда—Рибке).

Теории гравитации, такие, как тео-

рии Нордстрёма и Эйнштейна, в которых силы заявляют о себе появлением кривизны пространства-времени, в настоящее время известны как «метрические теории». В таких теориях действие сил обнаруживается появлением кривизны пространства-времени, которая определяет форму траектории движения объекта. При таком подходе сила не зависит от состава объектов, на которые она действует. (Это другая формулировка принципа эквивалентности.)

Общая теория относительности с ее революционной и удивительно удачной концепцией описания Вселенной утвердилась как одно из величайших достижений научной мысли нашего столетия. Но несмотря на такой высокий статус, нельзя забывать, что она не универсальна по своей способности удовлетворить всем экспериментальным проверкам действия гравитации. В настоящее время имеются некоторые свидетельства существования гравитационных эффектов, приводящих к нарушению принципа эквивалентности, которые невозможно объяснить в рамках общей теории относительности. Однако эти эффекты могли бы быть объяснены с помощью более современных теорий, появившихся в результате попыток объединения общей теории относительности с другим «краеугольным камнем» современной физики — квантовой теорией.

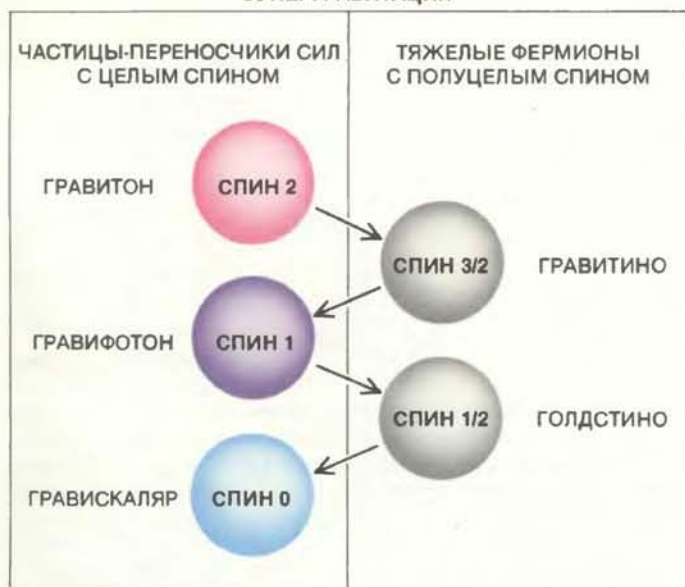
НА САМОМ деле имеется серьезное противоречие между квантовой механикой и принципом эквивалентности, который лежит в основе классической (неквантовой) теории гравитации. Например, согласно принципу эквивалентности, начальное положение и скорость пробного тела однозначно определяют траекторию его свободного падения в гравитационном поле. В квантовой механике, однако, путь пробного тела не определен и может быть описан только с помощью вероятностных категорий (см. статью: Де Витт. Квантовая гравитация, «В мире науки», 1984, № 2, с. 50). Таким образом, принцип эквивалентности не может быть точным понятием в рамках квантового описания гравитации. Поэтому неудивительно, что квантовые теории гравитации могут включать взаимодействия, которые нарушают принцип эквивалентности.

Квантовомеханические представления коренным образом изменили классическую теорию поля. С классической точки зрения энергия и импульс переносятся полем. Согласно квантовой механике, энергия и импульс передаются дискретными порциями, называемыми квантами, ко-

		СИЛА МЕЖДУ ОДИНАКОВЫМИ «ЗАРЯДАМИ»	СИЛА МЕЖДУ ПРОТИВОПОЛОЖНЫМИ «ЗАРЯДАМИ»	ПРИМЕРЫ
СПИН	0 (СКАЛЯР)	ПРИТЯЖЕНИЕ	ПРИТЯЖЕНИЕ	ЧАСТИЦЫ ХИГГСА, ГРАВИСКАЛЯР
	1 (ВЕКТОР)	ОТТАЛКИВАНИЕ	ПРИТЯЖЕНИЕ	ФОТОН, ГЛЮОН, ГРАВИФОТОН
	2 (ТЕНЗОР)	ПРИТЯЖЕНИЕ	ПРИТЯЖЕНИЕ	ГРАВИТОН

ЧАСТИЦЫ С ЦЕЛЫМ СПИНОМ переносят фундаментальные взаимодействия. Частицы с четным спином порождают только притягивающую силу, в то время как частицы с нечетным спином создают и притягивающую, и отталкивающую силы в зависимости от того, имеют ли взаимодействующие объекты одинаковые или противоположные квантовые числа. Например, электромагнитная сила переносится фотоном (спин 1). Таким образом, частицы с одноименными зарядами отталкиваются друг друга, а частицы с противоположными зарядами притягиваются. По-видимому, гравифотон также вызывает отталкивание между веществом и веществом и притяжение между веществом и антивеществом.

СУПЕРГРАВИТАЦИЯ



МЕТРИЧЕСКИЕ ТЕОРИИ



ДВА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ПОДХОДА предсказывают существование новых, связанных с гравитацией взаимодействий, которые во многом похожи. Теории супергравитации, в которых применяются четыре или более «суперсимметричных» преобразований (стрелки) гравитона (спин 2), дают набор новых частиц: гравитино (спин 3/2), гравифотон (спин 1), голдстино (спин 1/2) и гравискаляр (спин 0). Гравифотон и гравискаляр должны быть переносчиками

новых сил. Предсказания так называемых метрических теорий, в которых силы описываются с точки зрения кривизны пространства-времени, аналогичны: гравитон (спин 2) высших размерностей «распадается» в обычном 4-мерном пространстве-времени на гравитон (спин 2) и один или несколько гравифотонов (спин 1) и гравискаляров (спин 0).

которые могут быть описаны как частицы. Следовательно, в квантовой теории поля силы появляются в результате обмена такими частицами (подобно тому, как подающий игрок, бросая бейсбольный мяч, передает энергию и импульс принимающему игроку). Так, электромагнитное взаимодействие передается при обмене фотонами, или квантами света. При этом величина результирующей силы определяется частицами — переносчиками взаимодействий.

Такие частицы имеют определенные массу покоя (для фотона она равна нулю) и спин (собственный угловой момент), который может принимать целые или полуцелые значения. Все известные взаимодействия — гравитационное, электромагнитное, слабое (ответственное за радиоактивный распад) и сильное (которое связывает составляющие атомных ядер) — передаются частицами с целым спином и вызывают силы, область действия которых обратно пропорциональна массам этих частиц. Силы, переносимые массивными частицами, такие, как слабое взаимодействие, действуют только в ограниченной области. Силы, передаваемые безмассовыми частицами, такие, как электромагнитные и гравитационные, имеют явно бесконечную область действия; их величина меняется обратно пропорционально квадрату расстояния между взаимодействующими частицами.

Теперь известно, что спин поля свя-

зан с природой сил: поля с нечетным спином могут вызывать как притягивающие, так и отталкивающие силы; поля с четным спином — скалярные (спин 0) или тензорные (спин 2) — обуславливают только силы притяжения. Электромагнитное взаимодействие, например, может быть описано как поле со спином 1 (т. е. сила, переносимая фотоном, имеющим спин 1). Сила этого поля будет притягивающей для противоположно заряженных частиц и отталкивающей для частиц одноименного заряда.

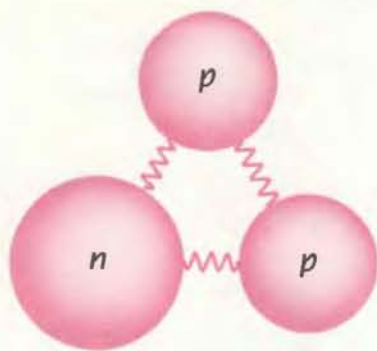
По-видимому, теория гравитации должна быть построена исключительно на скалярных и тензорных полях, переносимых частицами с четным спином. Действительно, было показано, что, когда общая теория относительности, основанная на тензорном поле, переформулируется в квантовую теорию поля, гравитационные силы переносятся безмассовой частицей со спином 2, называемой гравитоном. Тем не менее с точки зрения математики квантовая версия общей теории относительности имеет определенные трудности (бесконечно большие величины). Это заставило физиков искать пути расширения общей теории относительности для квантования гравитации.

ОДНИМ из наиболее предпочтительных подходов к квантованию гравитации служит класс теорий, известных как калибровочные тео-

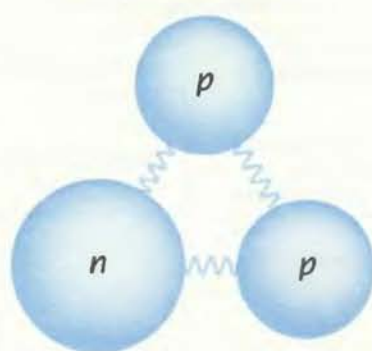
рии. В настоящее время они широко применяются для описания сильного и электрослабого взаимодействий и являются «кандидатами» в так называемую теорию великого объединения. Калибровочные теории основаны на определенном типе внутренней симметрии и представляют в этом смысле большой интерес для теоретиков, поскольку для вычисления всех явлений в рамках таких теорий необходимо учитывать только несколько начальных параметров (см. статью: Д. Фридман, П. ван Ньювенхойзен. Супергравитация и унификация законов физики, «Успехи физических наук», 1979, т. 128, вып. 1, с. 130—160).

Успех калибровочных теорий дает надежду, что математические трудности в квантовании общей теории относительности могут быть преодолены введением так называемой локальной суперсимметрии. В большинстве версий таких моделей полагают, что частица с полуцелым спином является партнером для каждой частицы с целым спином, и наоборот. Создается, таким образом, калейдоскоп новых частиц: гравитон со спином 2 имеет партнера со спином 3/2, который в свою очередь имеет партнера со спином 1 (гравифотон), его партнер — со спином 1/2, который имеет партнера со спином 0 (гравискаляр). (В некоторых моделях описывается несколько партнеров для каждого значения спина). Эти новые

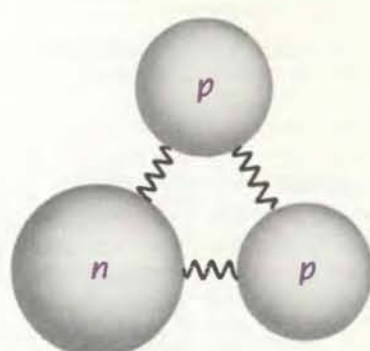
ГРАВИТОН



ГРАВИСКАЛЯР



ГРАВИФОТОН



НАРУШЕНИЕ принципа эквивалентности допускается в новых теориях, так как три частицы — переносчики гравитации и сопутствующих сил — могут взаимодействовать с массой и энергией в разной степени, что иллюстрируется разной интенсивностью цвета на рисунке. Гравитон одинаково взаимодействует с массой (сферы) и энергией связи (волнистые линии). Взаимодействие гравискаляра с массой может быть отличным от его взаимодействия с энергией связи, поэтому химические элементы, состоящие из многих связанных протонов и электронов, могут испытывать более слабое воздействие, чем те, которые содержат только несколько

связанных нуклонов. Гравифотон мог бы сильнее взаимодействовать с внутренними квантовыми числами, такими, как барионный заряд (общее число протонов и нейтронов), чем с массой или энергией связи. Одной из проверок новых гипотез может быть сравнение сил гравитации, действующих на элементы с различным отношением протонов и нейтронов, поскольку протоны имеют меньшую массу, чем нейтроны, но одинаковый барионный заряд. Гравискалярный и гравифотонный эффекты могут быть обнаружены только в ограниченной области пространства, размер которой находится между несколькими сотнями метров и несколькими километрами.

партнеры подобны новым квантовым сверхсостояниям гравитона, и, по-видимому, их существование гарантирует, что теории супергравитации содержат вполне приемлемые (но, может быть, еще не совершенные) свойства квантового поля. Во всяком случае, все рассматриваемые теперь калибровочные теории квантовой гравитации содержат суперсимметричные сверхсостояния.

С одной стороны, частицы с полуспином в этих так называемых теориях супергравитации, вероятно, должны быть очень массивными. Энергия, соответствующая их массе покоя, должна составлять около 10^{12} эВ (в 1000 раз больше энергии протона). Ни одна из этих предсказанных частиц до сих пор не обнаружена. Сторонники теорий супергравитации надеются получить их на новых ускорителях, таких, как Tevatron в Национальной ускорительной лаборатории им. Ферми, LEP (Large Electron-Positron) в Европейской организации ядерных исследований (ЦЕРН) и находящийся в стадии разработки сверхпроводящий суперколлайдер SSC.

С другой стороны, частицы с целым спином, подобно гравитону, переносят силы и должны вызывать новые эффекты, величина которых сравнима с гравитацией (но с некоторым заметным отличием). По-видимому, и гравифотон, и гравискаляр имеют заметную массу покоя, поэтому область их действия должна быть конечной. Тем не менее гравискаляр создает только притяжение, в то время

как гравифотонные эффекты зависят от того, являются ли взаимодействующие частицы одинаковыми или различными. Обмен гравифотонном между веществом и веществом (или антивеществом и антивеществом) приведет к отталкиванию, гравифотонный обмен между веществом и антивеществом вызовет притяжение. Может создаться ситуация, когда для обычного вещества гравискалярная сила притяжения будет приблизительно компенсироваться гравифотонной силой отталкивания. И наоборот, при взаимодействии вещества и антивещества оба механизма — гравискалярный и гравифотонный — будут создавать притягивающую силу и поэтому будут складываться. Доказательство такого суммарного притяжения может быть получено в эксперименте с антипротонами.

ИНТЕРЕСНО, что похожие эффекты были предсказаны в различных теориях, в которых проблема квантования гравитации рассматривалась с разных точек зрения. Некоторые современные метрические теории более высокой размерности, чем общепринятое 4-мерное пространство-время, также предсказывают появление новых частиц. Этот подход возвращает нас к работе более чем 60-летней давности, выполненной Т. Калузой и О. Клейном, которые создали модель гравитации в многомерном пространстве-времени и затем «проектировали» ее на обычное пространство-время в надежде получить единую теорию гравитации и электро-

магнетизма (см. статью: Д. Фридман, П. ван Ньувенхойзен. Скрытые измерения пространства-времени, «В мире науки», 1985, № 5, с. 26).

Полвека модель Калузы—Клейна пребывала в забвении, но в последнее десятилетие некоторые физики-теоретики вновь обратились к ней, задавшись вопросом, что произойдет, если она будет расширена до еще более высокой размерности. Установлено, что многомерный гравитон (спин 2) при его переводе в обычные 4 измерения должен иметь несколько составляющих: 4-мерный гравитон (спин 2), векторное поле (спин 1), соответствующее гравифотону, и одномерное скалярное поле (спин 0), соответствующее гравискаляру. Этот процесс аналогичен проектированию стрелки из трехмерного пространства на плоскость: два измерения определяли бы стрелку на плоскости, и третье, вертикальное, измерение должно определить точку. (Как и в суперсимметрии, в некоторых моделях имеется несколько партнеров с одинаковым спином.) Таким образом, неметрические теории супергравитации и метрические теории высших размерностей имеют поразительно похожие следствия.

ВЫШЕ ОТМЕЧАЛОСЬ, что ни одна из квантовых теорий гравитации не является математически согласованной. Несмотря на это, Дж. Шерк в 1980 г. показал, что квантовые теории гравитации могут иметь измеримые физические следствия в обычном макром мире. Например, гравискаляр и

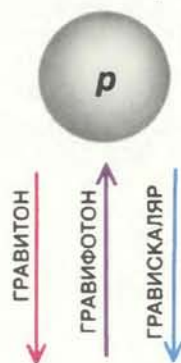
гравифотон не являются безмассовыми частицами и поэтому не подчиняются закону всемирного тяготения Ньютона (закону обратных квадратов). Следовательно, экспериментальные доказательства нарушения этого закона нужно искать в области нескольких сотен метров или нескольких километров, где, по-видимому, должны проявляться эффекты, обусловленные этими частицами.

Целью экспериментов может быть также определение возможных различий интенсивности взаимодействий гравискаляра и гравифотона с разными физическими характеристиками вещества, такими, как энергия связи или барионный заряд (общее число протонов и нейтронов). В теориях квантовой гравитации допускается, что интенсивность взаимодействия гравискаляра с энергией связи может отличаться от интенсивности его взаимодействия с массой покоя элементарных частиц. Например, гравискалярная сила может быть больше для 1 г водорода, чем для 1 г железа, так как на каждые 56 несвязанных атомов водорода приходится один атом железа, содержащий 56 связанных протонов и нейтронов. Гравифотон, однако, должен взаимодействовать с некоторым сохраняющимся квантовым числом элементарных частиц, таким, как общее число барионов или кварков, или суммой барионов и лептонов (например, электронов). Поэтому гравифотон будет также вызывать силу, которая зависит от состава объекта. Таким образом, обе новые силы могут нарушать принцип эквивалентности.

Рассматриваемые теории, следовательно, предсказывают, что два давно установленных закона физики будут ниспровергнуты: ненулевые массы гравискаляра и гравифотона подразумевают, что закон обратных квадратов не будет выполняться в характерной для них области; зависящая от состава взаимодействующих тел природа новых сил означает, что принцип эквивалентности также будет нарушен.

Предполагают, что для обычного вещества в поле тяготения Земли нарушение закона обратных квадратов будет небольшим. Это определяется тем, что силы, переносимые гравискаляром и гравифотоном, будут приблизительно компенсировать друг друга. Тем не менее небольшой остаточный эффект, возможно, был уже найден Ф. Стейси, Г. Такон и их коллегами из Университета шт. Квинсленд при измерениях локального ускорения силы тяжести на различных глубинах в шахтах Австралии. Ими установлено, что после уче-

ПАДЕНИЕ ОБЫЧНОГО ВЕЩЕСТВА



ПАДЕНИЕ АНТИВЕЩЕСТВА



НОВЫЕ ЧАСТИЦЫ, вероятно, должны обуславливать взаимодействие вещества с антивеществом с силой, отличной от взаимодействия обычных веществ. Гравитон и гравискаляр должны вызывать притяжение в обоих случаях, а гравифотон должен был бы вызывать отталкивание для вещества и притяжение для антивещества. Если бы гравифотонный и гравискалярный эффекты были почти равны, они практически компенсировались бы при взаимодействии обычного вещества, а при взаимодействии между веществом и антивеществом они должны складываться. Следовательно, антивещество могло бы падать в поле тяготения Земли на 14% (или более) быстрее, чем обычное вещество.



ПОДНЯТИЕ ГРАВИМЕТРА из глубокой скважины, пробуренной в материковом льду Гренландии в нескольких километрах южнее Полярного круга. Этот прибор, стоимостью 0,5 млн. долл., измеряет локальное ускорение силы тяжести на различных уровнях до глубины 1600 м с точностью 10^{-8} . Гравиметр, который обычно используют для нефтегазоразведки, в данном случае служит для проверки возможного существования новых, связанных с гравитацией взаимодействий. На фотографии — К. Рон из Службы полярного ледового бурения Университета шт. Небраска и Дж. Виртц из фирмы Amoco.

та поправок на локальные геологические условия, измерения не согласовывались с предсказаниями ньютоновской теории. Однако эти экспериментальные данные в какой-то степени можно было бы объяснить существованием одной дополнительной отталкивающей силы, в 100 раз меньшей обычной гравитации, область действия которой составляет несколько сотен метров, или отталкивающей и притягивающей сил, величина которых сравнима с обычной гравитацией, но которые приблизительно в 100 раз ослабляют друг друга; область их действия может составлять более 450 км.

Результат экспериментов в Австралии и недавно полученные данные А. Сюи из Иллинойского университета в Эрбана-Шампейн и Д. Экхарда и его коллег из Геофизической лаборатории ВВС США были независимо проверены М. Эндером, М. Цамбергом и их коллегами из Лос-Аламосской национальной лаборатории, Института океанографии Скриппса, Техасского университета в Далласе, фирмы Амосо и Шотландского института полярных исследований. Летом 1987 г. были проведены измерения силы тяжести в скважинах, пробуренных в материковом льду Гренландии, где благодаря однородности

окружающего льда могли быть снижены ошибки измерений. Эти результаты должны быть объявлены в ближайшие месяцы.

Кроме того, в последнее время большой интерес вызвал анализ результатов Этвеша (1909 г.), проведенный Е. Фишбахом из Университета Пардю. Его группа обнаружила корреляцию между полученными Этвешем небольшими расхождениями аномальных гравитационных ускорений, о которых упоминалось выше, и отношением барионного заряда к инертной массе различных веществ, использованных в эксперименте. Группа из Университета Пардю вы-



ДЕЙСТВИЕ ГРАВИТАЦИИ на антипротоны будет измерено на антипротонном кольцевом ускорителе низких энергий (LEAR) в Европейской организации ядерных исследований (ЦЕРН). Предполагают, что антипротоны, полученные на ускорителе LEAR, с энергией около 2 млн. электронвольт будут замедляться до уровня 10 000—20 000 эВ и захватываться ловушкой и накопителем, где они охладятся до 10 К ($-263\text{ }^{\circ}\text{C}$). Затем сгустки по 100 частиц будут «впрыскиваться» в метровую дрейфовую трубку. Для осуществления эксперимента антипротоны должны иметь начальную скорость в среднем 4 м/с. Поднимаясь вверх, они будут замедляться под действием гравитационного поля. Следовательно, частицы, обладающие большей энергией, достигнут детектора первыми, а частицы с меньшей

энергией попадут на него позже. Самые медленные частицы, не обладая достаточной скоростью, не смогут попасть в область ускоряющей сетки, поскольку их движение вверх будет подавлено гравитацией. Поэтому после определенного — порогового времени ни одна частица уже не достигнет детектора. В эксперименте будут отдельно измеряться и сравниваться пороговые времена для антипротонов и отрицательно заряженных ионов водорода (*черная кривая*), которые имеют такой же заряд и почти такую же массу, что и антипротоны. Если антивещество подвергается большему гравитационному воздействию, чем обычное вещество, то антипротоны будут иметь более короткое пороговое время (*цветная кривая*), чем ионы водорода.

сказала предположение, что эта корреляция может служить доказательством существования новой, «пятой» силы, хотя мы думаем, что, поскольку ее величина приблизительно такая же, как у гравитации, эта сила есть новый аспект самой гравитации. Ответ дадут дальнейшие экспериментальные и теоретические исследования.

Недавно выполнено несколько новых экспериментов для проверки эффектов зависимости взаимодействия от состава пробных тел. Приведем из них четыре результата: два отрицательных — группы из Вашингтонского университета под руководством Э. Адельбергера и группы из Национального бюро стандартов США под руководством Дж. Фаллера и два положительных — П. Тибергера из Брукхейвенской национальной лаборатории и П. Бойнтон и его коллег из Вашингтонского университета (см. заметку «Пятая сила?», «В мире науки», 1988, № 2).

В О ВСЕХ экспериментах, описанных выше, измерялось ускорение обычного вещества в поле тяготения Земли. Вспомним, однако, что можно ожидать от эксперимента, если заменить вещество на антивещество. Такой эксперимент мог бы дать чрезвычайно точную проверку принципа эквивалентности. В этом случае и гравискалярное, и гравифотонное взаимодействия будут вызывать силы притяжения. Следовательно, антивещество должно испытывать большее ускорение в направлении Земли, чем обычное вещество.

В 1982 г., руководствуясь более ранними обсуждениями такой возможности, двое из нас предложили провести эксперимент по измерению гравитационного ускорения антипротона на антипротонном кольцевом ускорителе низких энергий (Low Energy Antiproton Ring, LEAR) в ЦЕРНе. Затем к этому проекту присоединились ученые из Лос-Аламосской лаборатории, Университета Райса, Техасского университета, Эймского исследовательского центра НАСА, Университета г. Генуи, Пизанского университета и ЦЕРНа. В эксперименте предполагается антипротоны, полученные на ускорителе LEAR, охлаждать почти до абсолютного нуля и затем сгустки антипротонов по 100 частиц направлять в дрейфовую трубку, где будет измеряться время, необходимое им для достижения вершины трубки. Отрицательные ионы водорода, которые имеют тот же заряд и почти ту же массу, что и антипротоны, будут обеспечивать измерение времени пролета обычного вещества. Затем результат будет срав-

ниваться со временем пролета антипротонов, чтобы определить, подвергаются ли антипротоны большему гравитационному ускорению. Метод дрейфовой трубки заимствован из пионерской работы Ф. Виттеборна и У. Фейрбэнка (работавших тогда в Станфордском университете), которые в 1966 г. сообщили об измерении гравитационного ускорения электрона. Теперь Фейрбэнк надеется поставить на современном уровне эксперимент с позитронами, который мог бы служить хорошим дополнением к нашему эксперименту с антипротонами.

Ожидается, что в эксперименте с антипротонами будет достигнута точность выше 1%. Если действительно существуют и векторное, и скалярное взаимодействия, величина которых близка к обычной гравитационной силе, а область действия составляет около 450 км, то антипротоны должны падать с ускорением, на 14% большим, чем обычное вещество. Если же величина новых взаимодействий будет больше обычной силы гравитации, то эффект должен быть еще сильнее.

Даже если в таком эксперименте не

будут обнаружены новые эффекты, его значение может быть уже в том, что это будет первое измерение ускорения антивещества, и, таким образом, гравитационные эксперименты распространятся на совершенно новую область исследований так же, как это произошло с экспериментами Этвеша—Дикке и Паунда—Ребке. В этих экспериментах были получены как раз те результаты, которые предсказывались теорией. Они настолько хорошо и ясно подтвердили физические представления того времени, что стали классическими и вошли в учебники.

Но что если в эксперименте с антивеществом будет получен результат, который разрушит классическое понимание гравитации? Как мы должны будем убеждать самих себя и всех физиков, что этот результат не экспериментальная ошибка? Когда мы обсуждали эти трудности с двумя членами нашей группы, Р. Брауном и Н. Джерми, глаза их загорелись. Ответ был таким: «Мы хотели бы столкнуться с этой проблемой». Каков бы ни был исход, все мы с нетерпением ждем результатов новых экспериментов.

Книги издательства „Мир“

АДАПТИВНЫЕ ФИЛЬТРЫ

Под ред. К. Коуэна, П. Гранта
Перевод с английского

Адаптивные фильтры — устройства, меняющие свои частотные характеристики в зависимости от особенностей принимаемого сигнала. Их широкое практическое внедрение началось лишь недавно, с развитием методов цифровой фильтрации и технологии интегральных схем, причем спектр их применений интенсивно расширяется.

Коллективная монография, написанная ведущими специалистами США и Великобритании, входит в серию книг по обработке сигналов, которую выпускает издательство.

Содержание: введение в теорию и классификация адаптивных фильтров; методы оптимального оценивания; алгоритмы для фильтров с конечной

импульсной характеристикой; адаптивные алгоритмы для фильтров с бесконечной импульсной характеристикой; решетчатые фильтры; адаптивная фильтрация в частотной области; цифровые и аналоговые методы реализации адаптивных фильтров; адаптивные фильтры в технике связи и системах обработки сигналов.

Книга написана на высоком научном уровне и вместе с тем для ее понимания достаточно знания основ теории случайных процессов и матричной алгебры. Она предназначена для специалистов в области обработки информации, радиоэлектроники и техники связи, а также студентов старших курсов и аспирантов соответствующих специальностей.

1988, 24 л. Цена 3 р. 80 к.



Спектроскопия в медицине

Медицинский диагноз иногда зависит от возможности определять следовые количества биологических веществ. Специалисты из фирмы General Motors разработали спектральный метод с использованием перестраиваемого диодного лазера, позволяющий создать простое, дешевое и неинвазивное диагностическое оборудование.

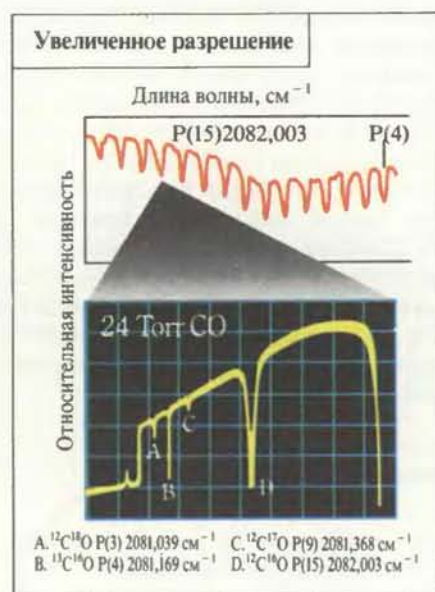


Рисунок 1. В спектре поглощения CO, полученном на обычном спектрометре, наблюдаются линии вращательно-колебательных переходов (вверху). В спектре, полученном с помощью диодного лазера, центрированного в области перехода $^{12}\text{C}^{16}\text{O}$ P(15), наблюдается полное разрешение линий $^{12}\text{C}^{17}\text{O}$ P(9), $^{12}\text{C}^{18}\text{O}$ P(3) и $^{13}\text{C}^{16}\text{O}$ P(4) (внизу).

Рисунок 2. Определение второй гармоники для $^{13}\text{C}^{16}\text{O}$ и $^{12}\text{C}^{16}\text{O}$ в выдыхаемом человеком воздухе.

В процессе жизнедеятельности организм человека перерабатывает вещества, поступающие из воздуха и пищи, превращая их в другие соединения. Происходящие при этом химические процессы часто являются хорошим «индикатором» состояния здоровья всего организма или его отдельных систем. Идентификация и определение концентрации тех или иных веществ имеет также важное значение при проведении как чисто научных, так и прикладных исследований.

Для этих целей в качестве меченых атомов широко используют радиоактивные изотопы. Однако многие специалисты не прибегают к этому методу — либо потому, что отсутствует подходящий радиоизотоп, либо из-за того, что радиоактивное излучение может повлиять на здоровье человека и окружающую среду.

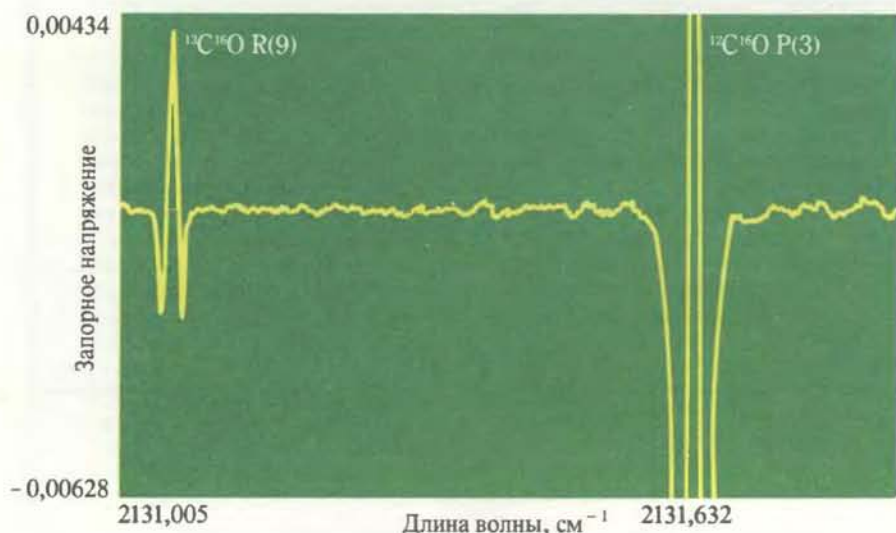
Предпочтительнее использовать стабильные нерадиоактив-

ные изотопы, но их повсеместному применению мешает отсутствие детектирующих устройств, столь же универсальных и простых, как сцинтилляционные счетчики для радиоизотопов. Обычно для обнаружения стабильных изотопов используют масс-спектрометрию, но чтобы этим методом идентифицировать и определить содержание разных по составу молекул с одинаковой массой (например, $^{14}\text{N}^{14}\text{N}$ и $^{12}\text{C}^{16}\text{O}$), необходимы трудоемкие операции по приготовлению образцов, дорогое оборудование и высококвалифицированный персонал.

Именно это обстоятельство и побудило д-ра Питера С. Ли и Ричарда Ф. Майковски приступить к разработке системы для анализа стабильных изотопов на основе молекулярных спектров ИК-поглощения, обладающей высоким разрешением и более широкими возможностями. Перестраиваемый одномодовый диодный лазер, созданный в физическом отделе лабораторией General Motors для анализа выхлопных газов автомобилей, использовался в качестве источника ИК-излучения, что способствовало созданию сверхчувствительного спектрометра.

Инфракрасные спектры поглощения состоят из серий линий, соответствующих переходам атомов между колебательно-вращательными энергетическими уровнями. Когда атом в молекуле замещен изотопом того же элемента, происходит сдвиг этих уровней, обусловленный изменением массы. На определении сдвигов частот переходов и основана новая лазерная система.

Так, у монооксида углерода шесть возможных форм молеку-



Монооксид углерода в выдыхаемом человеком воздухе.

Шкала растянута, чтобы показать очень большое отношение сигнала к шуму для $^{13}\text{C}^{16}\text{O}$. Специальной обработки образца, кроме удаления водяных паров, не требуется.

лы со стабильными изотопами: $^{12}\text{C}^{16}\text{O}$, $^{12}\text{C}^{17}\text{O}$, $^{12}\text{C}^{18}\text{O}$, $^{13}\text{C}^{16}\text{O}$, $^{13}\text{C}^{17}\text{O}$ и $^{13}\text{C}^{18}\text{O}$. Следовательно, в спектре поглощения должно быть шесть серий перекрывающихся линий. В интервале 1 см^{-1} могут располагаться линии нескольких изотопных молекул на расстоянии $0,1\text{ см}^{-1}$ и менее.

Различать эти линии позволяет система с диодным лазером, разрешение которого обычно лучше 10^{-4} см^{-1} . Так как лазер перестраиваемый, его излучение может быть сфокусировано в области, где линии нескольких изотопных молекул могут сканироваться внутри одной продольной лазерной моды (рис. 1).

В первой модели экспериментальной системы источником монохроматического ИК-излучения служил диодный лазер на монокристалле, содержащем слой легированного теллурида свинца и сплава теллуридов свинца, европия и селена. Сколламированное излучение направлялось на кювету с исследуемым образцом и фокусировалось на ИК-детектор.

Конструкция кюветы позволяет выбирать один из двух оптических путей с изменяемыми длинами для определения по интенсивности падающего и проходящего излучения молекул с сильно различающимся содержанием изотопов. Установка запатентована в США под № 4684805.

Чувствительность системы можно значительно повысить, используя модуляцию длины волны и выявление гармоник. На рис. 2 показано определение молекул $^{13}\text{C}^{16}\text{O}$ в выдыхаемом человеком воздухе, где их концентрация обычно составляет от 1 до 10 частей на 100 млн.

Новая система применима для измерения стабильных изотопов кислорода в биологических и органических образцах, которые можно превратить в CO . Метод также пригоден для любого превращаемого в газ образца с подходящим спектром ИК-поглощения.

«Использование радиоизотопов в качестве индикаторов хорошо себя зарекомендовало, — говорит д-р Ли. — При наличии универсальных аналитических методов возможности применения стабильных изотопов огромны.

Простота в эксплуатации и сравнительно невысокая стоимость перестраиваемой ИК-лазерной системы позволяют применять ее в различных медицинских целях: при диагностике нарушений всасывания жиров, дисфункции кишечника, легких и печени, таких заболеваний, как цирроз и диабет, и пр.

Диабет можно диагностировать по содержанию воздуха, выдыхаемого пациентом, который получал меченный изотопом сахар, т. е. без анализа крови, длительных сложных процедур и не подвергая пациента облучению.

Упрощение способов измерения могло бы расширить методологию изотопного анализа, дополнить уже существующие методы и дать значительную экономическую выгоду».

General Motors



КТО ЕСТЬ КТО



Д-р Питер С. Ли (справа) — старший научный сотрудник отдела биомедицины научно-исследовательских лабораторий фирмы General Motors (GMRL). Закончил химический факультет Тайваньского Национального университета. Степень доктора философии в области физической химии получил в Иллинойском университете в Эрбана-Шампейн. В GMRL наряду с работой по стабильным изотопам занимается биосенсорами и лазерной спектроскопией. Ли перешел в General Motors в 1977 г. из Медицинского центра Иллинойского университета в Чикаго.

Ричард Ф. Майковски в период создания новой лазерной установки был научным сотрудником физического отдела GMRL. Степени бакалавра и магистра в области физики и математики получил в Детройтском университете. Изучает проблемы, связанные с эмиссионной спектроскопией, когерентной оптикой, голографией и лазерной спектроскопией. Майковски работал в GMRL с 1955 г., в сентябре 1987 г. уволился и стал профессором физики Технологического института им. Лоуренса.

Антитела-катализаторы

В этом новом классе молекул сочетается огромное разнообразие антител со способностью к катализу, что таит в себе богатые практические возможности в биотехнологии, медицине, а также в изучении белков

РИЧАРД А. ЛЕРНЕР, АЛЬФОНСО ТРАМОНТАНО

МОЖНО ЛИ заставить антитела служить в качестве ферментов? Казалось бы, эти два класса белков возникли в ходе эволюции для различных целей. Ферменты отличаются своей способностью к катализу, т. е. ускорению химических реакций без непосредственного участия в них. Антителам свойственна способность высокоспецифично узнавать разнообразные вещества.

Тем не менее и те и другие белки оказывают свое действие во многом одинаково — путем связывания с другими молекулами. Молекулы ферментов имеют активные центры, представляющие собой как бы расщелины на поверхности, где связываются химические соединения, которые должны вступить в реакцию. В молекулах антител есть специальные участки, обеспечивающие связывание чужеродных молекул, попавших в организм; таким образом антитела отмечают их для разрушения другими компонентами иммунной системы.

Огромное разнообразие антител — это проявление защитной функции иммунной системы. Она способна производить примерно 100 млн. различных антител, каждое из которых связывает определенное чужеродное соединение, и тем самым готова отразить многочисленные и разнообразные потенциально опасные агенты, проникающие извне. Напротив, химические процессы, протекающие в организме, стереотипны и неизменны. Природа ограничилась несколькими тысячами ферментов, каждый из которых способен катализировать одну или несколько реакций.

Без катализатора большинство биохимических реакций протекает невероятно медленно. В живом ли организме, в лаборатории или в промышленном процессе эти превращения полностью зависят от немногочисленного «войска» существующих ферментов. Но для реакций, не имеющих биологического значения, часто нет готового фермента. А иммунная система может создать антитело почти к любому соединению, и в настоящее

время стало реальным выделение достаточного количества очищенного моноклонального антитела к одной определенной молекуле-мишени.

В лаборатории Научно-исследовательского института Скриппсовской клиники мы занимались изучением структурных особенностей взаимодействия антител и молекул-мишеней. Недавно на основании новых данных и теоретических представлений о химических взаимодействиях возникла идея использовать для катализа энергию связывания антител со своими мишенями. Нам удалось получить первые антитела-катализаторы; эти исследования, сулящие по существу бесконечное разнообразие каталитических антител, могут принести плоды в биотехнологии, медицине, а также в изучении структуры и функции белков.

ОБЫЧНЫЕ антитела, по-видимому, не катализируют реакции в живых организмах, но они обладают некоторыми свойствами, предполагающими потенциальную возможность катализа. В совместной работе с Э. Гецофф и Дж. Тейнером из Скриппсовской клиники и Х.М. Гейсеном из Иммунологической лаборатории содружества наций в Австралии нами было обнаружено, что антитела могут индуцировать структурные изменения в молекулах-мишенях. Мы получили антитела к определенному белку, вводя его лабораторным животным, и поставили задачу выяснить, с какими участками молекулы данного белка наиболее легко связываются полученные антитела и каким образом они обретают доступ к этим антигенным детерминантам.

В качестве белка-мишени мы выбрали миогемэритрин, который является переносчиком кислорода у некоторых морских беспозвоночных. Аминокислотная последовательность миогемэритрина известна, а его пространственная структура была определена с помощью рентгеноструктурного анализа С. Шериффом

из Национального института диабета и заболеваний пищеварительного тракта и почек, У. Хендриксеном из Колумбийского университета и Дж. Смитом из Университета Пардю. Зная аминокислотную последовательность, мы могли синтезировать пептиды — короткие цепочки из аминокислот, имитирующие отдельные участки белка. На основании структурных данных можно затем установить локализацию этих пептидов в молекуле белка.

Мы проверяли каждый пептид на способность взаимодействовать с антителами к миогемэритрину и полученный результат брали в качестве параметра связывания антител с соответствующим участком молекулы белка. Полученная в результате антигенная карта миогемэритрина показала, что каждая антигенная детерминанта белка является мишенью для нескольких антител, но наиболее реакционноспособны те участки, где белковая структура гибкая, а аминокислотные остатки образуют выпуклую поверхность, которая, вероятно, соответствует вогнутому связывающему «карману» того или иного антитела.

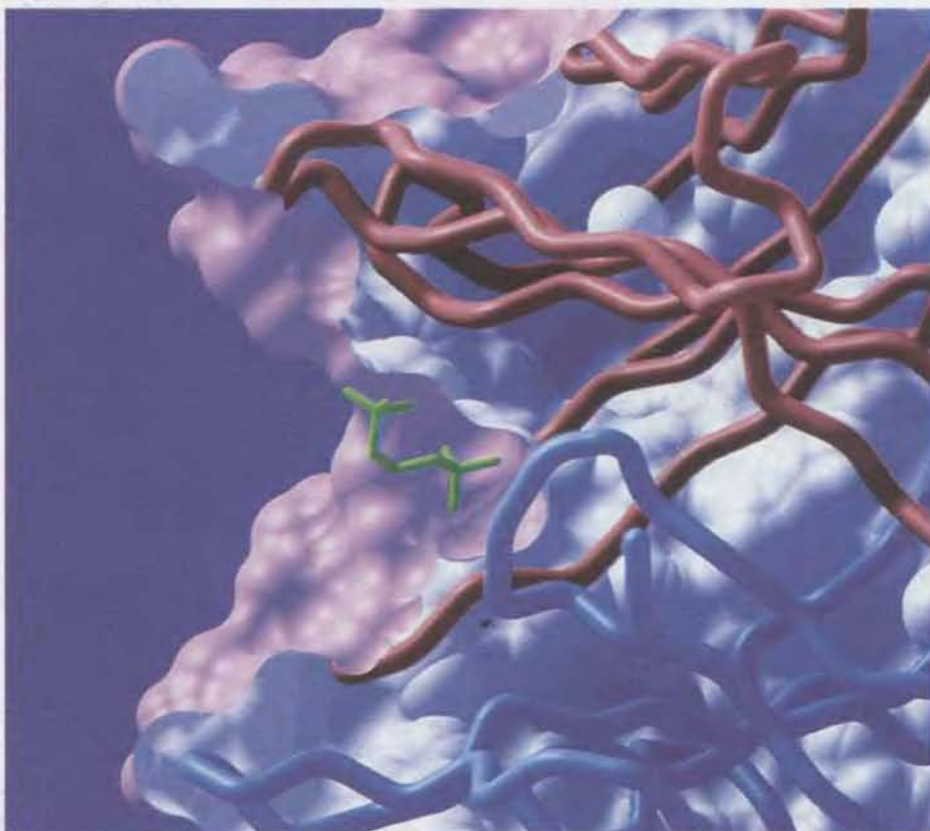
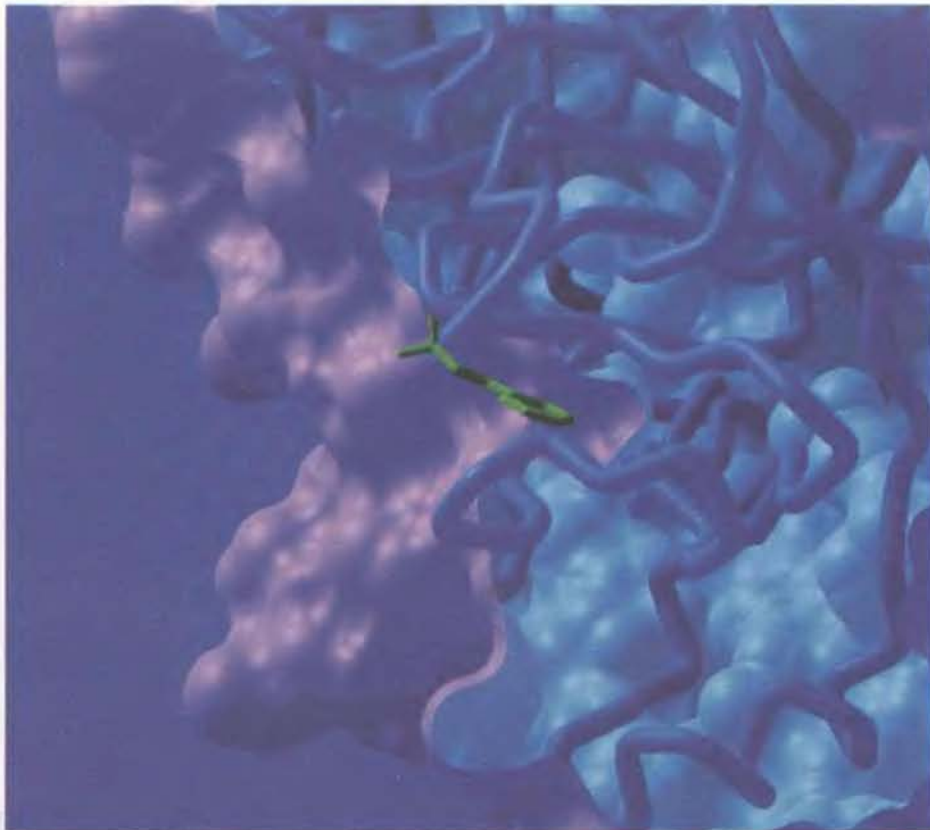
Затем мы более детально изучили специфичность связывания антител. Чтобы выяснить, какие аминокислотные остатки наиболее важны для связывания в данном участке, мы синтезировали пептиды с такой же аминокислотной последовательностью, как у этой антигенной детерминанты, но заменяли одну из аминокислот. Проверяя способность пептидов связываться с антителами к миогемэритрину, мы узнали эффект каждой замены. Если замена какой-либо аминокислоты приводила к снижению реактивности, можно было думать, что эта аминокислота участвует в связывании антитела.

К нашему удивлению, не все необходимые для связывания аминокислотные остатки оказались на поверхности молекулы белка, где они непосредственно доступны антителам. В частности, в случае одной антигенной

детерминанты антитела эффективно связываются, взаимодействуя с остатками валина, тирозина и глутаминовой кислоты. Замена любой из этих трех аминокислот приводит к резкому снижению реактивности пептида. Но пространственная структура миогемэритрина такова, что только валин и глутаминовая кислота находятся на поверхности молекулы белка; тирозин же (и особенно его объемная боковая цепь) спрятан в глубине белковой глобулы, располагаясь под остатками глутаминовой кислоты и другой близлежащей аминокислоты — лизина, которых удерживают рядом слабые электростатические силы. По всей видимости, остаток тирозина недоступен для антитела, взаимодействующего с поверхностью молекулы миогемэритрина. Значит, в процессе присоединения антитела тирозин каким-то образом появляется на поверхности белка. Если структура, при которой остаток тирозина расположен внутри белковой глобулы, является наиболее стабильной (т. е. эта конформация характеризуется самой низкой энергией), связанное антитело должно поддерживать белок в относительно высокоэнергетическом состоянии. Для этого нужна энергия, источником которой, вероятно, служит сила связывания антитела.

Белковые молекулы представляют собой динамические системы. Связи между аминокислотными остатками постоянно растягиваются, поворачиваются и колеблются. В миогемэритрине в результате вращения боковая цепь тирозина может оказаться на поверхности молекулы, нарушая слабую связь между остатками глутаминовой кислоты и лизина, и стабилизируется в таком положении связанным антителом. Альтернативная возможность — первоначальное взаимодействие антитела с белком способствует разрыву связи между глутаминовой кислотой и лизином, а затем находившаяся в глубине боковая цепь тирозина, опять же в результате вращения, выступает на поверхность и прямо взаимодействует с антителом.

ТАК ИЛИ ИНАЧЕ, полученные нами результаты имеют фундаментальное значение для представлений об антителах и их способности к связыванию: возможно, что некоторые антитела наиболее легко связываются с молекулами-мишенями, находящимися в высокоэнергетическом состоянии. Стабилизируя такое состояние, антитело фактически преодолевает связи или силы, которые поддерживают низкоэнергетическое состояние мишени. В этом отношении антитела подобны ферментам. Ферменты



АКТИВНЫЙ ЦЕНТР представляет собой связывающий «карман» как в ферментах, так и в антителах. И те, и другие специфично связываются с определенными соединениями. При этом ферменты катализируют химическое изменение в молекуле-мишени, а антитела, связывая свои мишени, которыми являются чужеродные вещества, тем самым отмечают их для разрушения другими компонентами иммунной системы. Авторы статьи обнаружили, что за счет энергии связывания антител тоже могут осуществляться химические превращения мишеней. На этих компьютерных изображениях (получены А. Олсоном с помощью программы MCS, разработанной М. Конноли) показана часть молекулы химотрипсина (*вверху*) и одного из антител (*внизу*), срезанная так, что виден «скелет» белка (на верхнем рисунке он *синий*, на нижнем — *темно-розовый и синий*) и связанная в «кармане» небольшая молекула (*зеленая*).

тоже изменяют связи в своих субстратах, т. е. молекулах-мишенях. Конечно, разрываемые ферментами ковалентные связи более сильные, чем те, которые преодолевают антитела. Тем не менее в целом связывание ферментов с субстратами не прочнее, чем связывание антител с их мишенями. Если способность молекул к катализу обусловлена энергией связывания, может ли использоваться энергия связывания антител для «работы», чтобы антитела не просто отмечали свои мишени, а химически их модифицировали?

Ферменты работают именно так. Действие фермента можно рассмотреть в рамках энергетических представлений. Химический процесс описывается энергетической поверхностью: стабильные молекулы находятся в глубоких впадинах этой поверхности, и чтобы одна молекула превратилась в другую, ее атомы должны переместиться из одной впадины в другую, перевалив через горку. Ато-

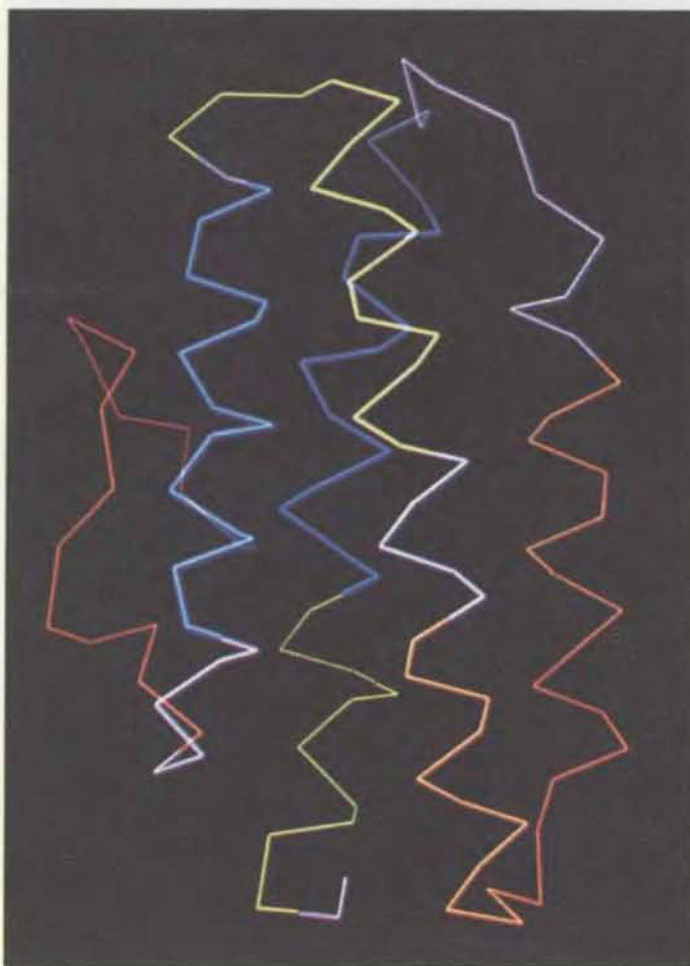
мы сначала получают энергию до тех пор, пока не достигнут точки наивысшей энергии, а затем ее теряют, «скальзываясь» во впадину, характеризующую энергетическое состояние стабильного продукта. Высшая точка этого пути соответствует динамическому, нестабильному переходному состоянию, в котором связи еще не полностью образовались или разорвались. Переходное состояние существует лишь мгновения в процессе превращения исходных соединений в продукты.

Разница в высоте точек на энергетической поверхности, соответствующих исходным соединениям и переходному состоянию, — это энергия активации реакции. Она представляет собой энергетический барьер, который нужно преодолеть, чтобы реакция могла завершиться. Чем выше энергия активации, тем медленнее протекает реакция. Фермент ускоряет реакцию, снижая энергию активации: «рельеф» энергетической поверхно-

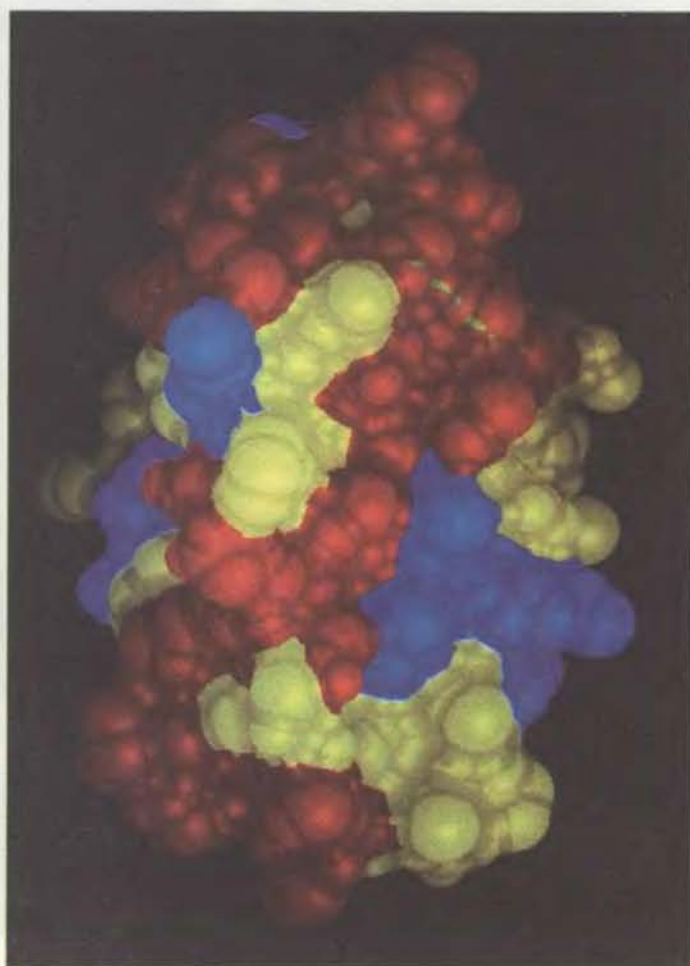
сти изменяется так, что обеспечивает путь, проходящий через меньшую «горку».

В 1946 г. Л. Полинг предположил, что фермент может снижать энергетический барьер реакции в результате того, что он наиболее прочно связывает не исходные реагенты, а переходное состояние. Тем самым переходное состояние стабилизируется. Соответственно затраты энергии на его образование снижаются и скорость реакции возрастает, часто в миллиарды раз. Фермент действует как катализатор, так как продукты реакции отделяются от него, давая возможность вновь связывать и подвергать превращению молекулы субстрата.

Согласно схеме Полинга, основное различие между действием фермента и антитела заключается в следующем: в то время как ферменты наиболее легко присоединяют молекулы субстратов, находящиеся в высокоэнергетических, активированных состояниях, антитела связываются с



РАЗЛИЧНЫЕ УЧАСТКИ МОЛЕКУЛЫ МИОГЕМЭРИТРИНА (белка-переносчика кислорода у некоторых морских беспозвоночных) обладают разной способностью взаимодействовать с антителами к этому белку. Это было установлено при помощи пептидов (коротких цепочек аминокислот), имитирующих отдельные участки полипептидной цепи белка (слева). Каждый пептид проверяли на связывание с антителами к миогемэритрину и на основании этих данных и данных о структуре белка составили его антиген-



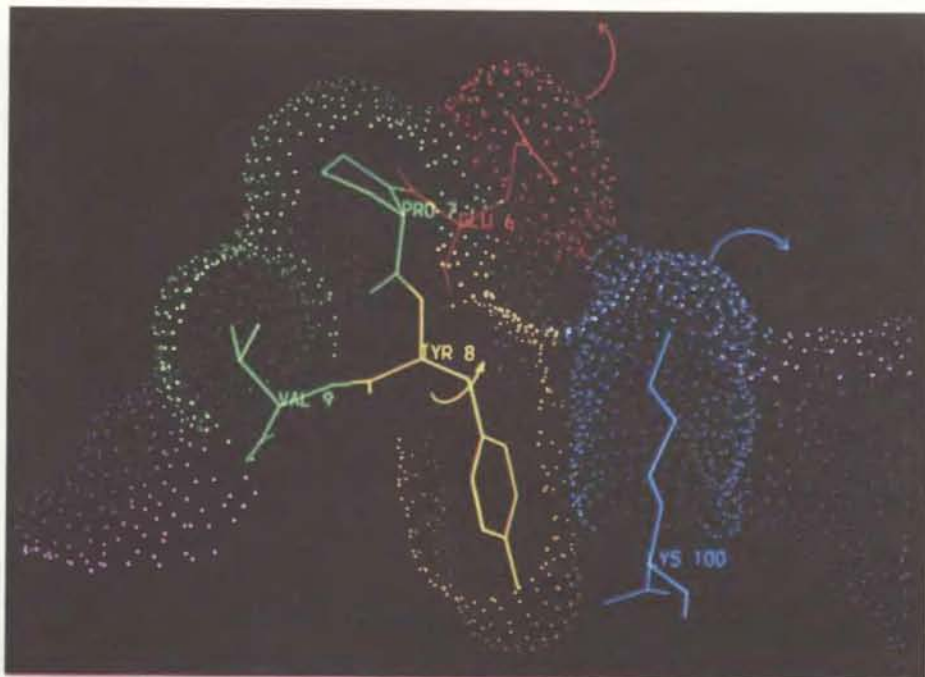
ную карту. Оказалось, что антитела «предпочитают» те участки, где белковая структура гибкая и с выпуклой поверхностью; вероятно, эти особенности обеспечивают соответствие связывающему «карману» антитела. На изображении молекулы миогемэритрина (справа) способность взаимодействовать с антителами обозначена цветом: наибольшая — красным, средняя — желтым, наименьшая — синим. (Изображения получены с помощью компьютера Э. Гецофф и Дж. Тейнером.)

низкоэнергетическими структурами. Много лет назад У. Дженкс из Университета Брандейса высказал предположение, что если бы удалось получить антитело к переходному состоянию (т. е. к высокоэнергетической структуре), то это антитело, возможно, оказывало бы каталитическое действие на соответствующую химическую реакцию.

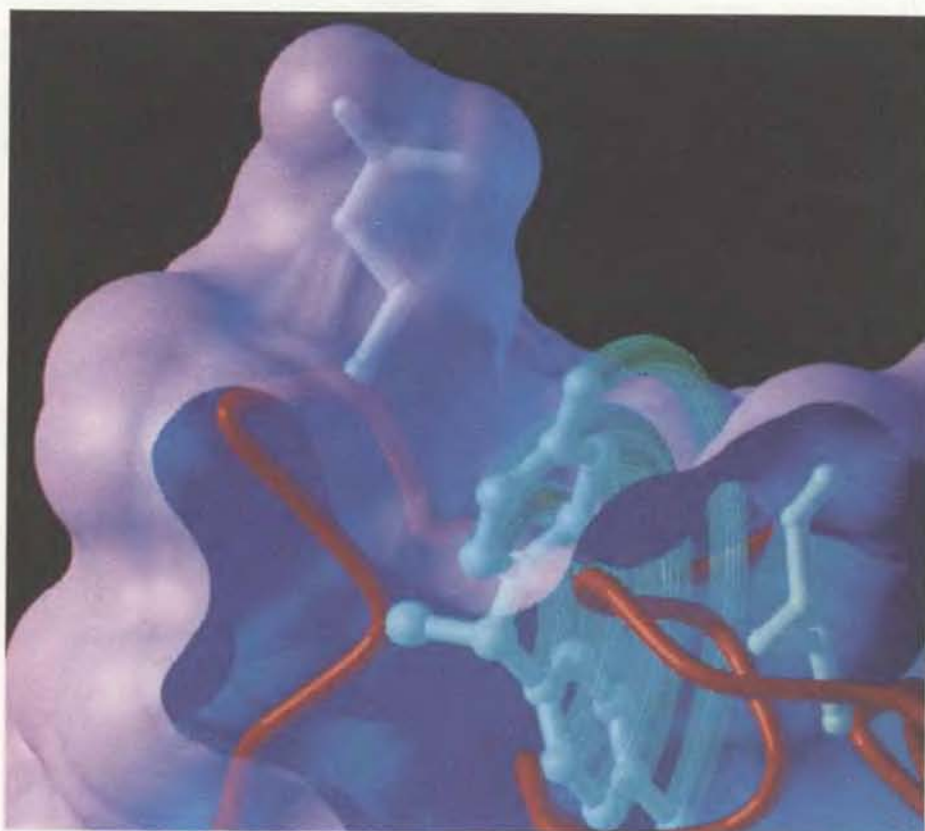
ОДНАКО получение антител к переходному состоянию на практике сталкивается с трудностью. Чтобы получить антитела, необходим антиген, который вводят экспериментальным животным, индуцируя иммунный ответ. В данном случае невозможно использовать истинный антиген: само по себе переходное состояние настолько нестабильно, что как бы не существует для практических целей. К решению этой проблемы привело другое предположение Полинга. Он предсказал, что для ферментативной реакции можно найти стабильное соединение, имитирующее переходное состояние по форме и электрическому заряду. Такой аналог переходного состояния связывался бы с ферментом очень прочно и ингибировал бы его каталитическую активность, заполняя связывающий «карман» и препятствуя связыванию истинного субстрата. В течение последних 20 лет был синтезирован ряд соединений, которые ведут себя согласно предсказанию Полинга.

Аналог переходного состояния в принципе может служить в качестве антигена. Индуцируемые им антитела были бы способны узнавать истинное переходное состояние, стабилизировать его и, возможно, оказывать каталитическое действие на субстрат. Мы начали исследования в этом направлении с изучения реакции гидролиза эфиров: в ходе этой реакции молекула воды атакует химическую группу, называемую эфирной, и образуются молекулы кислоты и спирта. Эфирная группа состоит из двух атомов углерода и двух атомов кислорода. Центральный атом углерода соединен с одним из атомов кислорода двойной связью; эти атомы остаются в образующейся в результате реакции молекуле кислоты. Второй атом кислорода, который связан с обоими атомами углерода, становится частью спирта. В ходе гидролиза разрываются связи между центральным атомом углерода и кислородом, входящим затем в состав спиртовой группы, и образуется новая связь между углеродом и атомом кислорода воды.

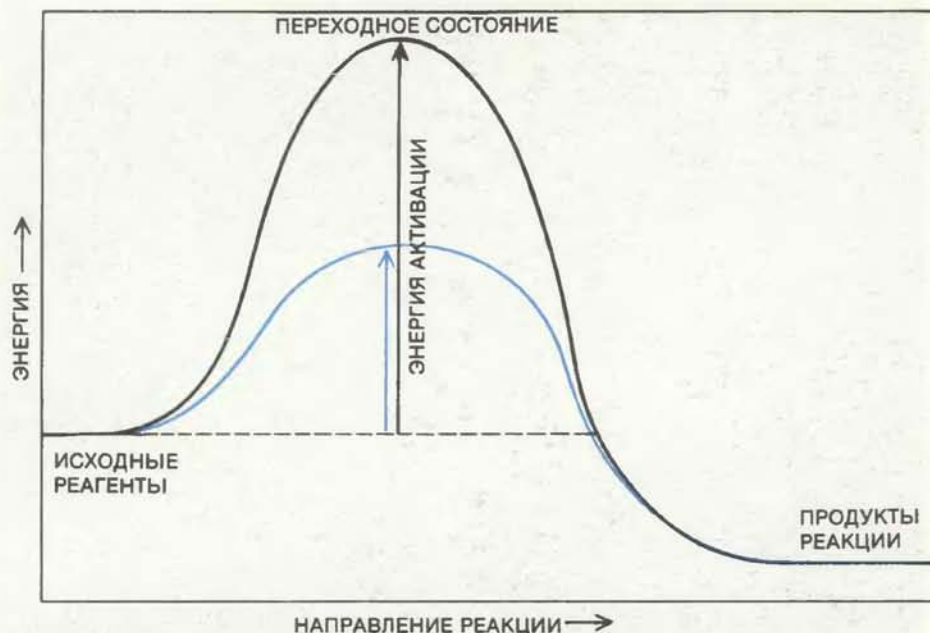
Четыре атома эфирной группы несут небольшой заряд и располагаются в одной плоскости. Однако при взаи-



АНТИГЕННАЯ ДЕТЕРМИНАНТА миогемэритрина включает несколько аминокислотных остатков, из которых три необходимы для связывания пептидов, имитирующих этот участок белка, с антителами. Из них два — валин (зеленый) и глутаминовая кислота (красная) — находятся на поверхности молекулы белка, а третья, тирозин (желтый), — в глубине, под глутаминовой кислотой и лизином (синий), удерживаемыми рядом слабой электростатической связью. Для взаимодействия с тирозином антитело должно каким-то образом способствовать перегруппировке, при которой эта связь разрывается и тирозин, поворачиваясь, перемещается к поверхности (указано стрелкой). Изображение получено с помощью компьютера Э. Гецофф и Дж. Тейнером.



БОКОВАЯ ЦЕПЬ ТИРОЗИНА (зеленый) при связывании антитела с антигенным участком, изображенным на предыдущем рисунке, поворачивается относительно «скелета» белка (красный). Перегруппировка может произойти спонтанно за счет теплового движения и связанное антитело ее просто стабилизирует. Антитело могло бы и активно изменять форму белковой поверхности, индуцируя конформационные переходы аминокислотных остатков. (Изображение получили М. Пик, Э. Гецофф и Дж. Тейнер с помощью компьютера по программе MCS.)



ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПРОФИЛЬ гипотетической химической реакции. Суммарно энергия в результате превращения исходных реагентов в продукты уменьшается, но реакция протекает через так называемое переходное состояние — короткоживущий комплекс атомов, который нестабилен и характеризуется более высоким уровнем энергии. Чтобы реакция могла осуществиться, исходным реагентам должна быть сообщена энергия, недостающая до энергетического уровня переходного состояния. Каталитическое действие ферментов состоит в том, что они уменьшают энергию активации реакции, частично за счет стабилизации переходного состояния (цветная кривая). Благодаря этому процесс может ускоряться в миллиарды раз.

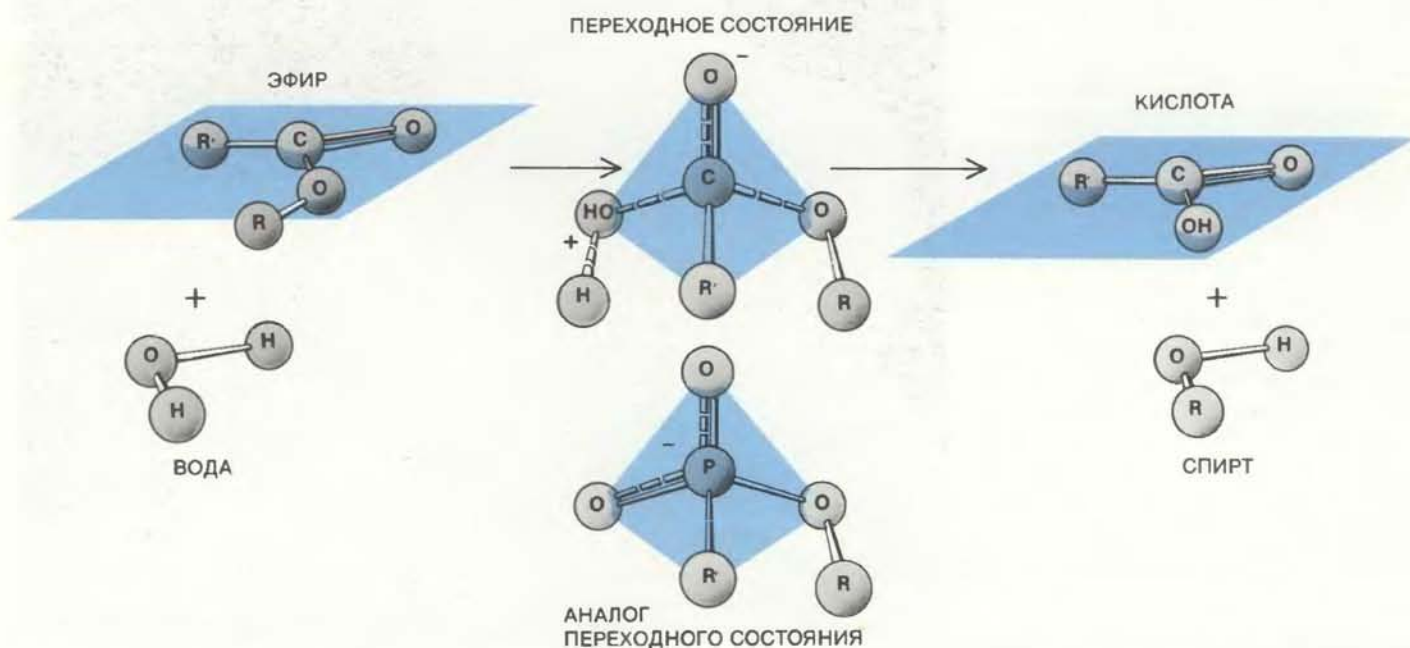
модействии с молекулой воды в процессе реакции возникает переходное состояние, в котором центральный углерод окружен тремя атомами кислорода и атомом углерода, образующими тетраэдрическую структуру,

причем часть атомов кислорода несет электрический заряд. В переходном состоянии связи не только имеют иную ориентацию, но и растянуты примерно на 20% относительно их нормальной длины. Характерные

особенности переходного состояния говорят о том, что сам по себе эфир не может использоваться в качестве антигена, индуцирующего образование каталитических антител. Эфир индуцировал бы антитела, которые стабилизировали бы только исходный субстрат реакции. Такие антитела увеличивали бы, а не снижали активационный барьер реакции.

Для этой цели требуется аналог переходного состояния. Если заменить центральный атом углерода в тетраэдрической структуре переходного состояния на атом фосфора, получается стабильное соединение, известное под названием эфир фосфоновой кислоты. Распределение зарядов на атомах кислорода в этой молекуле примерно такое же как в переходном состоянии. Кроме того, связи между атомами фосфора и кислорода на 20% длиннее, чем обычные связи между углеродом и кислородом, так что в аналоге имитируется растянутость связей, характерная для переходного состояния.

Мы синтезировали такой аналог, присоединили его к белку-носителю и этот конъюгат вводили мышам. Затем у животных выделили клетки селезенки, секретирующие антитела. Путем слияния клеток селезенки с опухолевыми клетками были получены клоны идентичных клеток, производящих антитела. Обычно единственный антиген индуцирует образование множества различных антител, которые связываются с разными антиген-



ГИДРОЛИЗ ЭФИРА протекает через нестабильное переходное состояние, характерные форма и заряд которого могут быть имитированы стабильной молекулой. Эфирная группа и один из продуктов реакции — кислота (в которую переходит центральный атом углерода эфира) — имеют плоскую конфигурацию и не несут электрического заряда (R и R' обозначают химические группы, не принимающие уча-

ствия в реакции). Переходное состояние имеет форму тетраэдра и поляризовано: частичный отрицательный заряд сконцентрирован на одной из вершин. Стабильный аналог переходного состояния, в котором центральный углерод заменен фосфором, обладает такой же геометрией и сходным распределением зарядов.

ными детерминантами (т. е. участками молекулы антигена), но каждая клетка (и образовавшийся из нее клон), производит лишь один тип антител. Чтобы выявить клетки, секретирующие антитела к аналогу переходного состояния, а не к антигенным детерминантам, скажем, белка-носителя, мы проверили каждое моноклональное антитело на способность взаимодействовать с аналогом переходного состояния.

Идентифицировав по связыванию с аналогом искомые антитела к переходному состоянию, мы исследовали их способность катализировать гидролиз соответствующего эфира. Некоторые антитела не оказывали никакого каталитического действия; возможно, они были специфичны по отношению к такому свойству молекулы аналога, которым само переходное состояние не обладало. Но мы были вознаграждены, обнаружив, что другие антитела действительно ведут себя как катализаторы, ускоряя гидролиз эфира примерно в 1000 раз. Как и ожидалось, эфир фосфоновой кислоты, к которому были получены антитела, ингибировал их каталитическую активность, вероятно, потому, что он связывался лучше, чем субстрат. Подобно способности обычных антител к узнаванию, каталитическая активность этих молекул высокоспецифична: они катализируют гидролиз только тех эфиров, структура переходного состояния которых точно соответствует антигену, которым было вызвано их образование.

Примерно в одно время с нашими экспериментами С. Поллак, Дж. Джекобс и П. Шульц из Калифорнийского университета в Беркли провели несколько иную работу исходя из тех же принципов. Они начали с антитела, специфичного к фосфорилхолину, молекула которого содержит атом фосфора, связанный с 4 атомами кислорода, образующими тетраэдр. По трехмерной структуре этого антитела, которую установили Д. Дейвис и его сотрудники в Национальном институте артрита, нарушения обмена веществ и заболеваний пищеварительного тракта, можно было заключить, что тетраэдрическая фосфорсодержащая группа как раз помещается в связывающем «кармане».

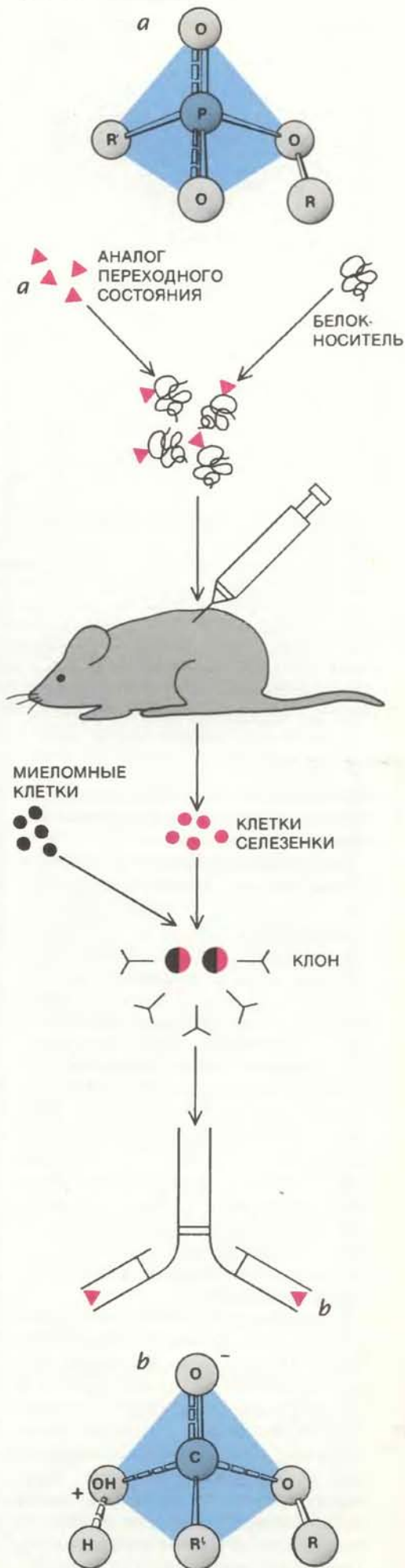
Поллак с коллегами предположили, что это антитело могло бы стабилизировать переходное состояние и таким образом осуществлять катализ, и поставили задачу сконструировать соединение, переходное состояние которого по заряду и форме было бы похоже на фосфорилхолин. Чтобы иметь в переходном состоянии тетраэдрическую структуру с 4 атомами кислорода, реагент должен содер-

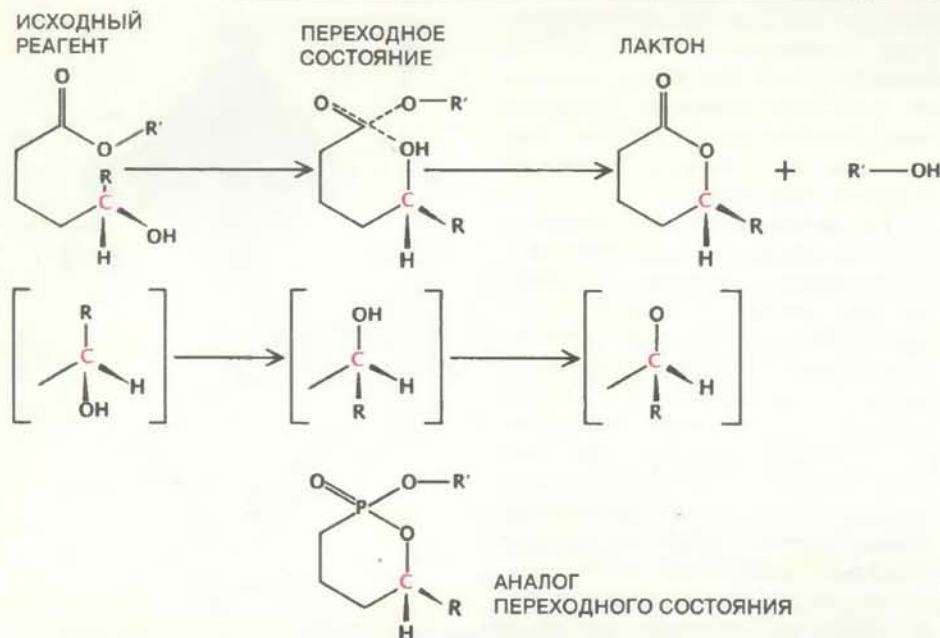
жать карбонатную группу (атом углерода, соединенный с 3 атомами кислорода). Когда подходящее соединение было синтезировано, исследователи обнаружили, что соответствующее антитело ускоряло его гидролиз во много сотен раз.

Этот результат подтвердил идею о том, что ключевым моментом катализа антителами является стабилизация переходного состояния. Чтобы продемонстрировать более широкое утверждение, а именно: что можно выделить из иммунной системы катализатор определенной специфичности, — следует, подобно нам, начинать с антигена. Наша работа показала общую схему получения каталитических антител. Путем исследования химических механизмов можно установить распределение зарядов и форму переходного состояния для данной реакции. На основании таких сведений создают стабильное соединение, имитирующее переходное состояние. С помощью этого соединения получают антитела с комплементарными ему (а значит, и переходному состоянию) связывающими «карманами». Таким образом, получение каталитических антител — это в основном моделирование и создание соответствующего антигена.

Каталитические антитела, полученные в результате тщательного конструирования антигенов, могут проявить не только химическую специфичность и каталитическую эффективность, но также и третье отличительное свойство ферментов — способность различать стереоизомеры. Молекулы, содержащие асимметрический атом углерода (т. е. связанный с четырьмя различными группировками) обладают хиральностью: они могут существовать в двух формах, которые химически идентичны, но являются энантиомерами — зеркальным отражением друг друга. Энантиомеры будут одинаково взаимодействовать с ахиральным соединением. Однако в реакции между двумя хиральными соединениями взаимодействуют преимущественно определенные

КАТАЛИТИЧЕСКИЕ АНТИТЕЛА были получены при помощи аналогов переходного состояния. Молекулы (а), имитирующие переходное состояние (в данном случае для реакции гидролиза эфира), присоединяют к белку-носителю и вводят этот конъюгат животному. Затем выделяют у него клетки селезенки, секретирующие антитела, и производят их слияние с миеломными клетками. Из каждой гибридной клетки получают клон. Выявляют клон, производящий антитела, специфичные к аналогу. Эти антитела связывают переходное состояние (b) и тем самым катализируют реакцию.





СТЕРЕОСПЕЦИФИЧНОСТЬ каталитических антител проверялась в реакции, в ходе которой молекула, содержащая открытую цепь из атомов углерода и кислорода, превращалась в кольцевое соединение — лактон. И исходное соединение, и переходное состояние, и продукт хиральны: они содержат асимметрический атом углерода (*выделен цветом*); этот атом связан с четырьмя различными химическими группировками и потому возможны две зеркальные конфигурации (*вверху и в середине*). Авторы синтезировали аналог переходного состояния (*внизу*) и получили антитело к нему. Оно катализировало образование лишь одной из двух возможных форм лактона, а значит, различало хиральные формы переходного состояния, т. е. проявляло стереоспецифичность.

энантимеры, подобно тому, как подходят друг другу рука и соответствующая перчатка.

Все аминокислоты, за исключением одной (глицина), являются хиральными соединениями, соответственно и образованные ими белки обладают хиральностью. В состав белков большинства живых организмов входит только один из двух энантимеров каждой аминокислоты. Ферменты, как и другие белки, существуют в одной хиральной форме. В реакции, субстратом или продуктом которой является хиральное соединение, фермент часто действует избирательно и катализирует процесс с участием лишь одного из энантимеров этого соединения. Можно было ожидать, что каталитические антитела, которые, будучи белками, являются хиральными, обладают подобной стереоспецифичностью.

В совместной работе с Э. Нэппером и С. Бенковичем из Университета шт. Пенсильвания мы искали стереоспецифичность, изучая реакцию, в которой и субстрат, и реагент в переходном состоянии, и продукт представляют собой хиральные соединения. В этой реакции возникает связь между атомом кислорода на одном конце длинной молекулы и атомом углерода на другом ее конце, и образуется кольцевая структура, называемая

лактоном. Атом углерода в середине молекулы связан с четырьмя различными группами и является асимметрическим. Это обуславливает существование двух энантимеров субстрата, переходного состояния и продукта. Стереоспецифичный катализатор должен связываться с одним из энантимеров переходного состояния, превращая, таким образом, лишь одну хиральную форму субстрата в одну форму продукта.

Образующееся в этой реакции тетраэдрическое переходное состояние напоминает переходное состояние, возникающее при гидролизе эфиров. Как и прежде, мы создали аналог переходного состояния, заменив атом углерода в центре тетраэдра на атом фосфора. Это вещество ввели лабораторным животным и получили моноклональные антитела. Используемый препарат аналога содержал разные хиральные формы, но каждое моноклональное антитело связывало только один энантиomer. Одно из этих антител оказывало каталитическое действие. Как и следовало ожидать, в ходе реакции, катализируемой антителом, расходовалась лишь половина субстрата, который представлял собой смесь энантимеров исходного вещества, и в результате получилась только одна хиральная форма продукта — лактона.

Таким образом, действие антитела стереоспецифично, — вероятно, потому, что его связывающий «карман» сформирован для узнавания только одной формы переходного состояния.

Стереоспецифичность, скорее всего, является общим свойством каталитических антител. Благодаря этому их можно использовать в ряде промышленных процессов, включая синтез лекарственных препаратов. Некоторые лекарственные соединения содержат один или более хиральных центров, вследствие чего существует несколько стереохимически различных форм препарата. Обычно только одна форма соответствующим образом взаимодействует с рецепторами для данного лекарства на клетках-мишенях. Неподходящая форма может не иметь лечебного эффекта, или даже, если она взаимодействует в организме с каким-то другим рецептором, наносить вред.

Те же соображения, которые привели нас к получению каталитических антител для реакций с участием простых молекул (таких, как эфиры), указывают путь получения антител для расщепления белков и нуклеиновых кислот — основных «молекул жизни», главного объекта молекулярной биологии и биотехнологии. В белках определяющими структуру связями являются амидные связи, соединяющие атом углерода одной аминокислоты с атомом азота соседней аминокислоты полипептидной цепи. В переходном состоянии при гидролизе амида образуется тетраэдрическая структура, в центре которой находится атом углерода, участвующий в амидной связи, что очень напоминает переходное состояние при гидролизе эфира. Эта конфигурация легко имитируется аналогом, содержащим фосфор. Антитело к такому аналогу, в состав которого входило бы еще несколько аминокислот, расположенных в полипептидной цепи рядом со связью-мишенью, могло бы расщеплять белок. Его действие было бы высокоспецифичным: гидролизовалась бы только связь, находящаяся в том участке аминокислотной последовательности белка, которую имитировал аналог.

Амидные связи, однако, очень стабильны, и антитела, способные ускорять их гидролиз, еще только предстоит разработать. Одна из трудностей состоит в том, что просто связывание переходного состояния может быть недостаточно для ускорения реакции, характеризующейся высокой энергией активации. Связывающий «карман» каталитического белка, будь то антитело или фермент, должен изменять химический механизм реакции таким образом, чтобы пре-



ПИЩЕВАРИТЕЛЬНЫЙ ФЕРМЕНТ ТРИПСИН и родственные ему ферменты, катализирующие гидролиз белков, ускоряют реакцию за счет не только стабилизации переходного состояния при разрыве амидной связи, но и химического воздействия на амидную группу боковыми цепями аминокислот в связывающем «кармане». Три аминокислотных остатка (зеленые) формируют «каталитическую триаду» (см. следующий рисунок). Боковые цепи этих аминокислот взаимодействуют со связанным белком так, что образуется переходное состояние, характеризующееся меньшей энергией, чем при некаталитическом течении реакции. Это изображение, на котором видны поверхность и «скелет» белка, получено А. Олсоном с помощью компьютера по программе MCS на основании данных рентгеноструктурного анализа, проведенного Р. Хьюбером с сотрудниками в Мюнхенском университете.

вращаемая молекула проходила по энергетической поверхности из впадины, соответствующей субстрату, во впадину, соответствующую продукту, иным путем — с меньшей энергией. То есть аминокислотные остатки, формирующие внутреннюю поверхность связывающего «кармана», должны непосредственно участвовать в реакции.

Действие аминокислот (точнее, их боковых цепей) аналогично каталитическому эффекту, который оказывают простые соединения или ионы в растворе. В отличие от ферментов эти молекулы слишком малы, чтобы образовать связывающий «карман» для субстрата; тем не менее они способны к катализу, так как образуют временные химические связи с реагирующими атомами. Например, простое основание может ускорять гидролиз эфира, отнимая протон от молекулы воды. Образующийся в результате ион гидроксид взаимодействует с эфирной группой намного легче, чем сама молекула воды. Воз-

можен и иной механизм. Если небольшая молекула обладает сродством к атому углерода, она может вместо молекулы воды разорвать связь между углеродом и кислородом. В результате освобождается спирт и образуется интермедиат — комплекс катализатора с оставшейся частью эфира. Затем молекула воды замещает молекулу катализатора и освобождается кислота — продукт гидролиза.

Боковые цепи аминокислот в связывающем «кармане» фермента имеют преимущество по сравнению со свободными каталитическими группами в растворе: их взаимодействие с молекулой-мишенью не зависит от случайности столкновений. При функционировании многих ферментов субстрат одновременно взаимодействует с тремя или более группами. Если бы эти группы находились в виде небольших молекул в растворе, их непосредственное соседство было бы практически невероятным, даже если не учитывать необходимость их определенной ориентации. Взаимное

Книги издательства „Мир“

Ж.-К. Самама
**ВЫВЕТРИВАНИЕ
И РУДНЫЕ ПОЛЯ**

Перевод с английского

В книге раскрывается роль процессов выветривания в рудообразовании. Рассматриваются геохимические, климатические и другие физико-географические условия образования кор выветривания, главные типы континентального выветривания, их эволюция в геологической истории и глобальное распространение. Проанализировано поведение рудных и породообразующих элементов в разных геохимических ландшафтах зоны гипергенеза. Оценивается скорость химической и механической денудаций, дается общая модель развития зоны химического выветривания. Рассматриваются процессы миграции растворенных элементов из кор выветривания и их последующего осаждения, и процессы, приводящие к образованию остаточных концентраций некоторых элементов. Описываются явления вторичного обогащения в зоне окисления месторождений сульфидов меди и никеля, железа и марганца. Наглядно показано на конкретных материалах, в динамике, формирование месторождений железа, алюминия, марганца при коровых процессах, развивающихся по породам, изначально обогащенным этими элементами.

1989, 30 л. Цена 6 р. 30 к.

Предварительные заказы направляйте в магазины, распространяющие научно-техническую литературу до 1 июля 1988 г. Издательство заказы не принимает.



расположение связанного субстрата и активных группировок в связывающем «кармане» фермента таково, что возможны каталитические механизмы, которые фактически исключают иной путь реакции.

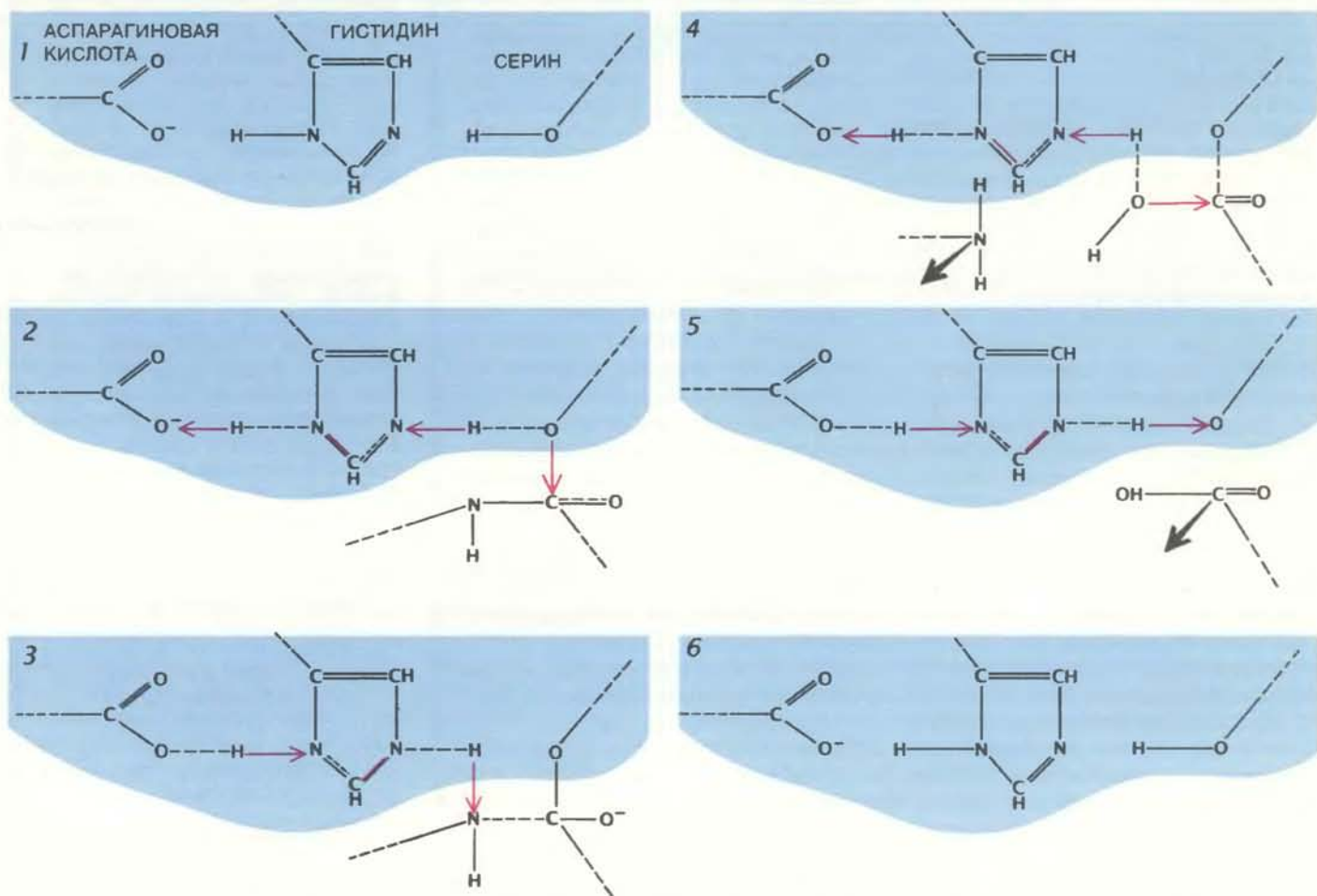
Например, известно, что основой функционирования трипсина и других протеиназ (ферментов, расщепляющих белки), является каталитическая триада остатков аспарагиновой кислоты, гистидина и серина, определенным образом ориентированных в связывающем «кармане» фермента. При атаке амидной связи эти три аминокислотных остатка действуют согласованно, в несколько этапов, и в итоге связь расщепляется. Сначала атом углерода амидной связи соединяется с атомом кислорода серина, в результате освобождается часть белковой молекулы с возникшим NH_2 -концом; затем молекула воды взаимодействует с комплексом серин—субстрат и освобождается остальная часть белка с образовавшимся COOH -концом, а фермент возвращается в исходное состояние (см. иллюстрацию внизу).

Таким образом, в результате прямого участия боковых цепей аминокислотных остатков связывающего «кармана» фермент осуществляет реакцию, которая без катализа протекает через высокоэнергетическое состояние, в несколько простых стадий, переходное состояние которых характеризуется более низким уровнем энергии. Этот аспект действия фермента удобно описывать как процесс, отличный от стабилизации переходного состояния, но в действительности они взаимосвязаны. Связывающий «карман» фермента может стабилизировать «вспомогательные» переходные состояния, снижая энергетические затраты на их образование, а также принимать непосредственное участие в них за счет действия боковых цепей аминокислот.

В АНТИТЕЛАХ внутренняя поверхность связывающего «кармана» тоже образована определенным образом ориентированными боковыми цепями аминокислот; некоторые из них вполне могли бы играть катали-

тическую роль. Можно ли заставить иммунную систему производить антитела, связывающий «карман» которых не только стабилизирует переходное состояние, но также принимает непосредственное участие в реакции и изменяет ее механизм? В молекулах антител наиболее изменчивы те участки полипептидной цепи, которые образуют связывающие «карманы»; даже в антителах к одному и тому же антигену «карманы» могут быть образованы разными аминокислотами. Путем тщательного моделирования антигена возможно получить антитело, содержащее определенные аминокислоты, которые могли бы участвовать в реакции. К примеру, имеет смысл моделировать соединение, которое имитирует переходное состояние не статически, а динамически, т. е. химически взаимодействует со связывающим «карманом» соответствующего антитела.

Огромное разнообразие антител в области участков связывания открывает возможность получать для одной реакции антитела с различными



КАТАЛИТИЧЕСКАЯ ТРИАДА в активном центре трипсина: остатки аспарагиновой кислоты, гистидина и серина (1), которые действуют согласованно таким образом, что амидная связь в белке разрывается. Атом кислорода гидроксильной группы серина атакует атом углерода амидной связи, и одновременно протон гистидина притягивается к отрицательно заряженному кислороду аспартата, а к гистидину перемещается протон от серина (2). Далее пер-

вый протон возвращается, а второй атакует атом азота амидной связи (3). Часть белка с образовавшейся NH_2 -группой освобождается, а ее место занимает молекула воды и вновь происходит перенос протона (4). На этот раз гидроксильная группа (OH) воды атакует связь между углеродом амидной связи и кислородом серина. В результате остальная часть белка освобождается (5), а каталитическая триада возвращается в исходное состояние (6).



ГИПЕРВАРИАБЕЛЬНЫЕ ПЕТЛИ (выделены цветом) полипептидных цепей, из которых состоит молекула антитела, формируют ее связывающий «карман». Аминокислотные остатки, образующие его, могут принимать непосредственное участие в переходном состоянии катализируемой антителом реакции. Поскольку в области связывающего «кармана» вариации аминокислотной последовательности наибольшие, в принципе возможно получить для одной и той же реакции множество различных антител, каждое из которых будет осуществлять катализ несколько иначе, чем другие. Это изображение одной «руки» Y-образной молекулы антитела получено с помощью компьютера М. Пиком.

наборами каталитических боковых цепей аминокислот. Каждое из этих сотен или тысяч антител к одному и тому же аналогу переходного состояния могло бы осуществлять катализ несколько иным механизмом в зависимости от того, какие аминокислотные остатки образуют связывающий «карман». Мы уже имеем некоторые данные, свидетельствующие о разнообразии каталитических механизмов при гидролизе эфиров с помощью антител: в то время как первое из полученных нами антител ускоряло реакцию примерно в 1000 раз, другие антитела к тому же аналогу переходного состояния — в 7 млн. раз.

Такое разнообразие каталитических механизмов может оказаться полезным для изучения белкового катализа. Какие специфические свойства обуславливают высокую эффективность природных ферментов? Какие свойства обязательны для проявления их активности? Какова могла быть структура менее эффективных, эволюционно более примитивных

ферментов? Эти вопросы стимулируют детальное изучение существующих ферментов. Исследование каталитического действия антител, в которых элементы связывающих «карманов» варьируют, дает новый эффективный подход к решению таких проблем.

АНТИТЕЛА, разработанные к настоящему времени нами и другими исследователями, участвуют в превращении относительно простых соединений. Реализация потенциальных возможностей новых белковых катализаторов в биотехнологии и медицине в значительной мере зависит от получения антител, способных воздействовать на белки и нуклеиновые кислоты. Существующие протеиназы немногочисленны и довольно неспецифичны: они разрывают определенную связь не зависимо от ее химического окружения. Каталитические антитела могли бы гидролизовать амидные связи, устойчивые к действию известных протеиназ, и

притом быть более чувствительными к аминокислотному окружению атакуемой связи.

Подобные катализаторы пригодились бы в медицине, например, при вакцинации. Применяемые в настоящее время вакцины имитируют патоген, — скажем, вирус, — чтобы стимулировать образование защитных антител. Если бы антивирусная вакцина имитировала переходное состояние, возникающее при гидролизе одного из вирусных белков, она бы индуцировала каталитические антитела, которые защищали бы организм, активно разрушая вторгшийся вирус. При этом антитела щадили бы собственные белки организма-хозяина. По тому же принципу можно было бы стимулировать иммунную систему больного, страдающего заболеванием сердца, для образования антител, которые разрушали бы белки в кровяных тромбах, предупреждая сердечный приступ.

Таким образом, каталитические антитела могут усилить способность иммунной системы защищать организм. Они, несомненно, внесут вклад в биотехнологию и фундаментальные исследования как в химии, так и в молекулярной биологии. В этих областях польза очевидна: расширяется арсенал молекулярных «инструментов». Кроме того, ускорение химических реакций при помощи связывающих «карманов» белков таит в себе массу других, еще неизвестных практических возможностей, которые наверняка будут способствовать развитию исследований на молекулярном уровне.

НАПОМИНАЕМ АДРЕСА МАГАЗИНОВ — ОПОРНЫХ ПУНКТОВ ИЗДАТЕЛЬСТВА «МИР»

250001 Киев,
ул. Крещатик, 44, магазин № 12
660036 Красноярск,
Академгородок, магазин № 101
191040 Ленинград,
ул. Пушкинская, 2,
магазин № 5 «Техническая книга»
121019 Москва,
проспект Калинина, 26, п/я 42,
магазин № 200 «Московский дом книги»
125315 Москва,
Ленинградский просп., 78,
магазин № 19 «Мир»
630091 Новосибирск,
Красный просп., 60,
магазин № 7 «Техническая книга»
440605 Пенза,
просп. Победы, 4, магазин № 1
142292 Пушкино-на-Оке,
просп. Науки, магазин № 7
620151 Свердловск,
ул. Карла Либкнехта, 16,
магазин № 8 «Техническая книга»

Строительные краны

Развитие этой группы грузоподъемных машин обусловлено растущими нуждами городского строительства. В настоящее время в строительной индустрии применяются подъемные краны многих типов

ЛОРЕНС К. ШАПИРО, ГОВАРД И. ШАПИРО

СДРЕВНИХ времен краны были основным механизмом, применяемым в строительстве. В современной, устремленной вверх городской застройке силуэты строительных кранов на фоне неба поистине стали символами технического прогресса, свидетельствующими об экономическом благополучии города. Для специалиста-строителя они, конечно, означают нечто большее. Эти мощные и маневренные машины обеспечили возможность сооружения современных небоскребов.

С течением времени внешний вид и возможности этих машин радикально изменились, хотя функции их в сущности остались неизменными. Все краны снабжены тросами и шкивами для подъема и опускания тяжелых грузов. Они могут поднимать грузы, перемещать их горизонтально и подавать точно на рабочие места.

В I в. н. э. строительные краны приводились в действие мускульной силой: несколько человек ходили по кругу, вращая колесо, связанное с тросами и блоками крана. Существенный скачок произошел лишь в начале XIX в., после изобретения паровой машины, когда появились краны с паровым приводом. В современных строительных кранах применяются многие новейшие технические достижения: микропроцессоры для управления грузами, высокопрочные стали для снижения массы наиболее напряженных конструктивных элементов кранов, сложные силовые передачи, обеспечивающие высокую точность перемещения грузов, и т. п.

В сущности кран представляет собой систему тросов и блоков, подвешенную на стреле и приводимую в действие собственным двигателем. В простейшей конструкции трос с крюком проходит через блок на конце стрелы и затем вниз к барабану лебедки, установленной у основания стрелы. Движением рычага крановщик приводит барабан лебедки во вращение; стальной трос наматывается на

барабан, и крюк с подвешенным грузом поднимается.

Эта простейшая система не дает никакого выигрыша в силе: для того чтобы поднять груз, усилие на тросе должно быть немного больше веса груза. Выигрыш в силе можно, однако, получить, если установить несколько блоков и таким образом распределить вес груза на несколько ниток троса. Если, например, к блоку на стреле добавить еще два и соответственно установить три блока на другом конце стрелы, то можно получить пятикратный выигрыш в силе, т. е. уменьшить усилие на тросе в пять раз (практически несколько меньше из-за трения), но при этом соответственно уменьшится и скорость подъема крюка (в данном примере тоже в пять раз). Относительные достоинства той или иной конструкции должны быть оценены заранее: краны с простым блоком необходимы там, где требуется сократить время подъема грузов. Напротив, на работах, связанных с подъемом тяжелых грузов, или там, где требуется особая осторожность, применяются краны с многоручьевыми (полиспастными) блоками.

По своему назначению современные подъемные краны делятся на две категории: промышленные краны и строительные краны. Различия между первыми и вторыми не абсолютны, однако краны обеих категорий имеют характерные конструктивные и функциональные особенности, определяемые разными условиями работы и эксплуатации. Более того, условия работы крановщиков промышленных кранов в корне отличаются от условий, в которых работают крановщики на строительных площадках. Промышленные краны часто выполняют повторяющиеся, строго определенные операции в неизменных условиях окружающей среды, тогда как строительные краны должны выполнять разнообразные задачи в меняющихся условиях эксплуатации.

Типичным примером промышленных кранов является порталный кран. Он поднимает контейнеры определенных размеров и веса с одной строго определенной площадки и переносит их на другую площадку. Каждый последующий подъем мало чем отличается от предыдущего. Место размещения, характер опоры и требования к переноске грузов для того или иного порталного крана можно определить заранее и спроектировать кран в строгом соответствии с этими требованиями. В некоторых случаях грузоподъемные операции, совершаемые краном, повторяются многократно и могут быть частично автоматизированы, что позволяет использовать менее квалифицированных крановщиков.

Напротив, строительные краны, выпускаемые промышленностью в стандартном исполнении, должны работать в условиях, которые никак не назовешь постоянными; поэтому заранее можно определить только рабочие характеристики такой машины. В связи с этим здесь многое зависит от квалификации людей, занятых проектированием и эксплуатацией строительных кранов. Кроме того, условия на строительной площадке и требования к подъему грузов могут существенно меняться при переводе крана с одного строительного объекта на другой. Более того, условия на одной и той же строительной площадке со временем меняются по мере того, как строительные работы переходят от нулевого цикла к завершению строительства. Башенный кран (названный так потому, что его стрела укреплена на башенной конструкции) может работать в одних условиях в начальный период строительства, когда он защищен от сильных ветров окружающей застройкой, и в совершенно иных условиях в конечный период, когда его наращивают на полную высоту и он может подвергаться действию ветров, дующих со скоростью до 160 км/ч.

История современных строительных кранов

Строительные краны, применяемые сегодня в городском строительстве в США, чрезвычайно разнообразны по конструкции. Этот факт хотя бы частично можно объяснить тем, что эволюция кранов в Европе и Северной Америке шла разными путями. В европейских странах строительные краны проектировались для работы в городах с не очень высокими зданиями, узкими улицами и густой населенностью. Поэтому краны для таких условий работы должны были быть малошумящими, относительно негромоздкими и безопасными. Европейским вариантом крана, удовлетворяющего этим условиям, явился башенный кран, получивший широкое применение в 50-х годах: высокая, стройная решетчатая конструкция, возвышающаяся над строящимся зданием и обладающая тем преимуществом, что и крановщик, и стрела крана находятся высоко над строительной площадкой. Кроме того, такие краны имеют электрический привод и могут работать почти бесшумно, однако имеют ограничения по скорости, ускорению и грузоподъемности.

Напротив, крановая промышленность США зародилась в мощном индустриальном поясе Среднего Запада, где производство строительных кранов было начато еще в первые годы XX в. теми же фирмами, которые выпускали ковшовые экскаваторы и другое добывающее оборудование для горно-рудной промышленности. Производители кранов в то время не были озабочены проблемами тесной городской застройки, но хотели создать надежную машину, способную выполнять разнообразные функции — от подъема грузов до черпания земли. Так появился мощный подвижный кран прочной конструкции с приводом от двигателя внутреннего сгорания. Работа таких кранов почти целиком зависела от мастерства работающего на нем крановщика. Хороший крановщик мог управлять машиной и грузом с высокой точностью, тогда как в неумелых руках высокая мощность машины способствовала ее быстрому разрушению.

В 50-х годах появились высокопрочные стали, и примерно в то же время сложились такие экономические условия, которые потребовали строительства более высоких жилых зданий. Эти обстоятельства привели к появлению подвижного крана с длинной стрелой, установленного на шасси грузовика или на платформе с



ПОДВИЖНЫЙ ГУСЕНИЧНЫЙ КРАН с башенной стрелой опускает крюк, чтобы взять ковш с бетонной смесью для строительства железобетонного здания. Работы ведутся на 12-м этаже здания, а всего будет возведено 45 этажей.

гусеницами. С этого времени подвижный кран, а через несколько лет и башенный кран получили «прописку» в городах. В настоящее время промышленность США выпускает строительные краны всех типов и экспортирует их во многие страны мира. Подвижные и башенные краны стали обычным атрибутом американских городов.

Выбор правильного типа крана для того или иного строительного объекта производится на основе требований безопасности и экономической эффективности. Нет сомнения, что требования к крану для строительства 6-этажного здания заметно отличаются от тех, которым должен отвечать кран для сооружения 60-этажного небоскреба. Должны учитываться и другие факторы, например грунто-

вые условия на строительной площадке, близость соседних зданий, интенсивность пешеходного движения у строительной площадки и конструктивные особенности возводимого сооружения.

Подвижные краны выгодно отличаются от башенных кранов большей свободой автономного перемещения на строительной площадке, что обеспечивает большую гибкость их применения. Они могут быть разделены на две группы: краны на колесном (шинном) ходу и на гусеничном ходу.

Краны на шинном ходу имеют сравнительно небольшой вес и монтируются на шасси грузового автомобиля, что позволяет им самостоятельно перемещаться с одной строительной площадки на другую. Модели меньшей грузоподъемности могут дви-

гаться по автодорогам в неразобранном виде; автокраны большей грузоподъемности допускаются на общественные автодороги после частичной разборки, в результате чего их вес снижается до допустимых лимитов. Хотя в различных штатах США и в разных странах установленные лимиты не одинаковы (что доставляет немало хлопот как проектировщикам, так и водителям автокранов), автокраны грузоподъемностью до 300 т стали обычным явлением и в большинстве случаев без всяких запретов могут перемещаться по автодорогам. Прибывший на стройплощадку автокран устанавливается для работы в нужном месте и стабилизируется. Для этого выдвигаются аутригеры и кран поддомкрачивается на деревянных шпалах или стальном листе для равномерного распределения давления крана на грунт.

Гусеничные краны менее удобны для перемещения с одной строительной площадки на другую, но зато им не нужны аутригеры и в отличие от автокранов они могут перемещаться по стройплощадке с грузом на стреле. Для перевозки на другую стройплощадку гусеничные краны частично демонтируют, чтобы уменьшить вес или габариты до допустимых пределов, и погружают на низкорамный автомобильный прицеп или железнодорожные платформы. Преимуществом гусениц является то, что вес крана распределяется на большую площадь грунта; именно поэтому гусеничные краны могут передвигаться с грузом на крюке.

Варианты устройства стрелы

Автомобильные краны выпускаются с грузовыми стрелами двух типов; выбор того или иного типа определяется характером выполняемых строительных работ. Телескопическая стрела, как следует из названия, состоит из нескольких входящих одна в другую секций, которые в процессе работы могут выдвигаться или втягиваться. Малые автомобильные краны с телескопической стрелой грузоподъемностью от 15 до 80 т отличаются высокой мобильностью и могут с успехом использоваться как универсальные и оперативные машины. Их можно использовать и в комплексе с большими строительными кранами практически на любых строительных площадках. Более мощные автомобильные краны имеют грузоподъемность до 500 т и телескопическую стрелу с вылетом до 60 м. С по-



КРАНЫ С РУЧНЫМ ПРИВОДОМ широко применялись в XVI в. в портовых доках. Рабочие ходили внутри двух топчачков («беличьих колес»), установленных с двух сторон корпуса крана, и вращали барабан лебедки, на который наматывался канат; на свободном конце каната подвешивался крюк. Стойка крана удерживалась на центральной опоре и катках и могла поворачиваться на 360°.

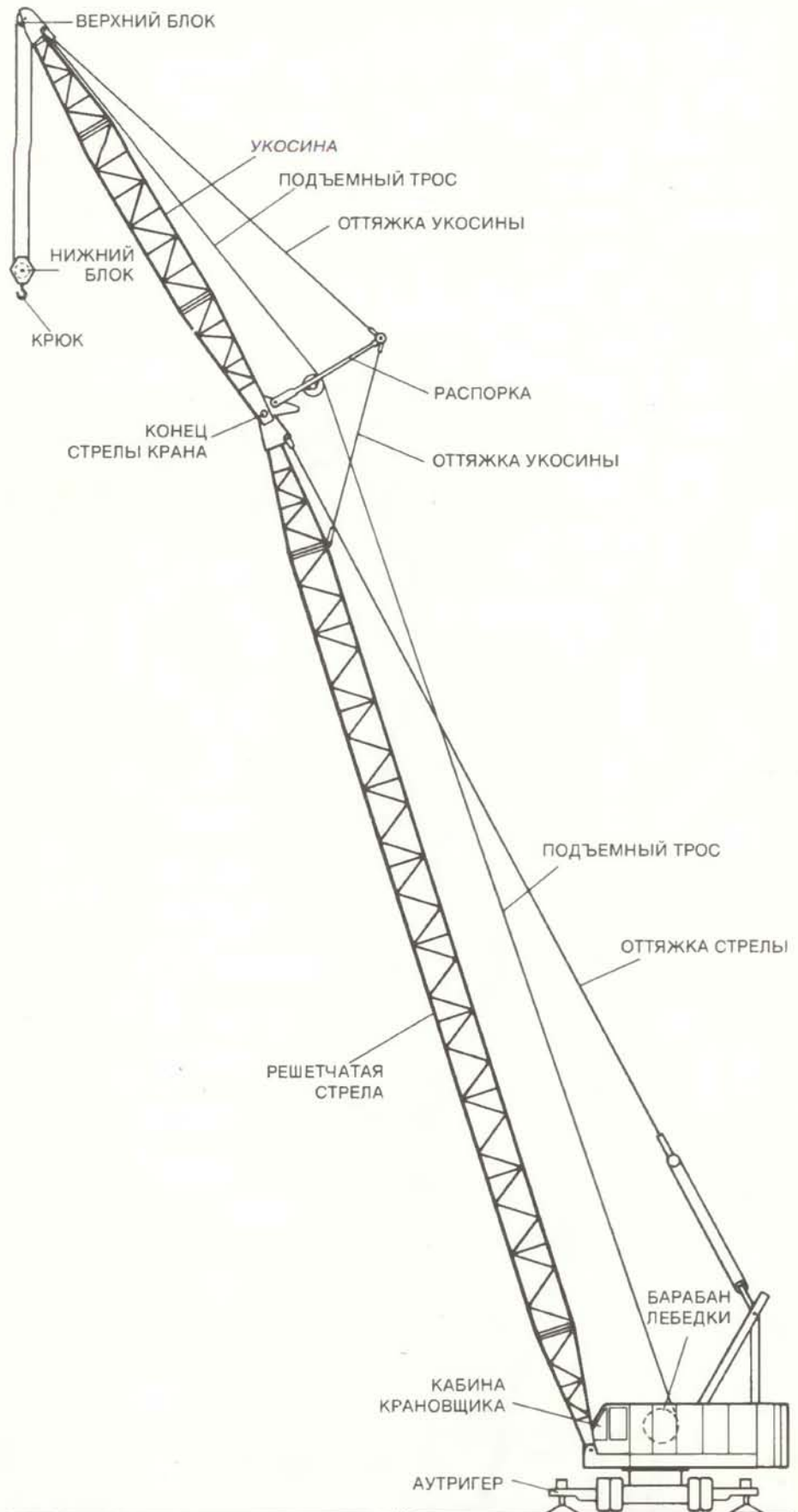
мощью удлинительной вставки протяженность стрелы можно увеличить еще больше.

Одним из недостатков кранов с телескопической стрелой является большой вес последней. Конструкция консольной стрелы (состоящей из входящих друг в друга коробчатых секций) далека от идеальной, поэтому, чтобы получить требуемую прочность, приходится увеличивать ее вес. В то же время дополнительный вес снижает грузоподъемность крана на большом вылете. Недостатком телескопических автомобильных кранов считается и то, что по сравнению с другими типами строительных кранов они имеют наибольшую стоимость на единицу грузоподъемности. Этот недостаток, однако, компенсируется тем, что такие краны могут быть подготовлены к работе по прибытии на стройплощадку в очень короткое время. Используя это обстоятельство, некоторые предприниматели держат парк автомобильных кранов на принципах «таксомоторной службы», так что один автокран может в день обслужить несколько строительных фирм-заказчиков.

Решетчатая стрела, применяемая на подвижных кранах, как автомобильных, так и гусеничных, представляет собой пространственную ферму, собранную из трубчатых или уголкового элементов, изготовленных из высокопрочной стали и соединенных на шпильках или болтах. Длина решетчатых стрел иногда достигает 105 м; она может быть еще увеличена с помощью укосины — легкой удлинительной фермы, прикрепленной на конце главной стрелы. Такие удлиненные стрелы применялись на строительстве 46-этажных зданий.

Хотя решетчатые стрелы большей длины и можно собирать из отдельных элементов, обычно это практически нецелесообразно. Прочность стрелы зависит от отношения ее длины к ширине. Поскольку для транспортировки стрел с поперечным размером более 2,4 м требуется специальное разрешение, указанный размер практически никогда не превышает.

В отличие от телескопических решетчатые стрелы могут требовать различной сложности сборки по прибытии на строительную площадку. На автокранах с короткими стрелами стрела складывается вдвое; в таком положении кран переезжает на новое место и может быть подготовлен к работе за два часа. Более длинные стрелы разбирают на секции, которые перевозят на новую стройплощадку отдельно, так что время на сборку стрелы увеличивается до 5 ч.



ПОДВИЖНЫЕ КРАНЫ С РЕШЕТЧАТОЙ СТРЕЛОЙ встречаются на многих городских строительных площадках. Управляя рычагами, крановщик может поднимать или опускать блок с крюком, стрелу и укосину и вращать верхнюю часть машины на основании. Колесные краны, такие, как показан на рисунке, снабжены аутригерами, обеспечивающими устойчивость крана при подъеме грузов.

В городском строительстве в последнее время появился и стал очень популярным вариант крана с решетчатой стрелой, представляющий собой некий гибрид подвижного и башенного крана («башенная приставка»). Конструкция установлена на гусеничном ходу и представляет собой вертикальную башенную секцию с укрепленной наверху решетчатой

стрелой. Башня перемещается параллельно стене здания, а стрела нависает над ним. В этом гибридном кране сочетаются преимущества кранов обоих типов, но его рабочая высота ограничена примерно 60 м, а основание занимает довольно большую площадь. Время для сборки такого крана в среднем равно 10 ч, т. е. больше, чем для подвижного крана, но мень-

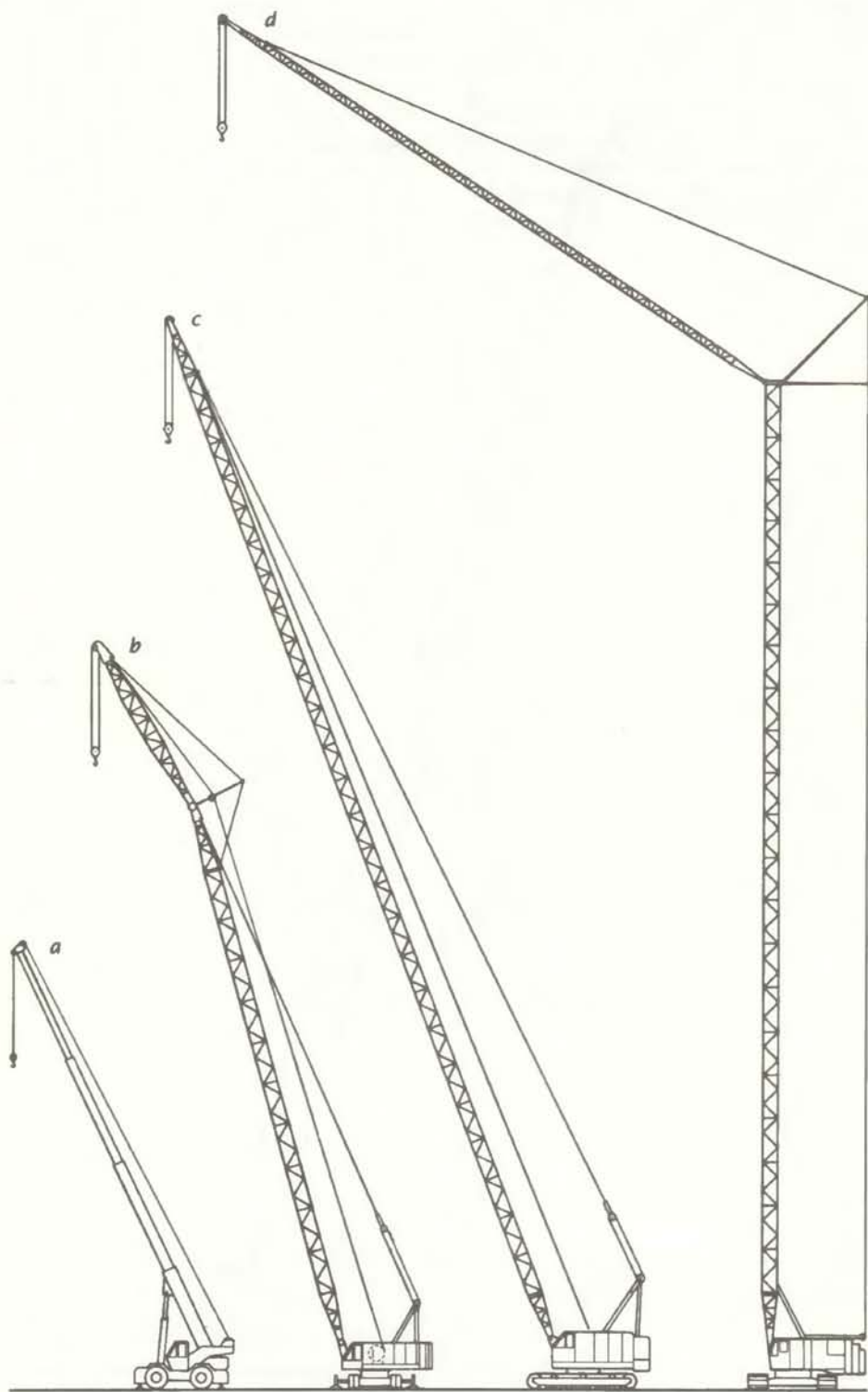
ше, чем для обычного башенного крана. Расходы на транспортировку и сборку таких кранов делают их использование экономически нецелесообразным на площадках, где кран может быть занят менее нескольких недель.

Старые подвижные краны с решетчатой стрелой приводились в действие от двигателя внутреннего сгорания через механическую зубчатую передачу (трансмиссию). Подобно тому как это делается в легковом автомобиле с ручной передачей, барабан лебедки приводится во вращение при включении сцепления, называвшегося фрикционом. Скорость подъема регулировалась изменением скорости и крутящего момента двигателя и дополнительно могла изменяться путем проскальзывания сцепления.

Крановщик мог остановить груз на любой высоте, отключив фрикцион и нажав на ножной тормоз; для удержания груза в подвешенном состоянии более длительное время храповое колесо барабана блокировалось защелкой (собачкой), предотвращавшей проворачивание барабана. При необходимости опустить груз крановщик освобождал защелку и частично освобождал фрикцион или тормоз или делал и то и другое. При полном освобождении и фрикциона и тормоза пустой крюк мог свободно опускаться; такие лебедки со свободным падением крюка экономили много времени на спусках крюка без груза.

Некоторые более современные подвижные краны вместо механической трансмиссии имеют гидравлическое устройство (преобразователь момента), которое поддерживает постоянный рабочий режим (нагрузку) двигателя, меняя скорость подъема в соответствии с изменениями веса подвешенных грузов. При заданной массе груза крановщик может менять скорость двигателя, меняя тем самым его нагрузку и скорость подъема груза. Для того чтобы поднять груз с земли, скорость двигателя должна быть увеличена так, чтобы развиваемая двигателем мощность оказалась достаточной для преодоления сопротивления груза. После того как груз оторвался от земли, он может быть перенесен краном на нужное место и удерживаться над ним при пониженной скорости (и мощности) двигателя, которая в этом режиме зависит от тяжести груза. Снижая скорость двигателя еще больше, так, чтобы сопротивление груза превысило развиваемую двигателем мощность, крюк с грузом можно опустить с желаемой скоростью.

Примерно то же самое происходит в автомобиле с автоматической



ПОДВИЖНЫЕ КРАНЫ имеют стрелы различной длины. На рисунке в одном масштабе изображены: малый автомобильный кран с телескопической стрелой (а), автомобильный кран с решетчатой стрелой и укосиной (b), гусеничный кран с решетчатой стрелой (с) и гусеничный кран с башней и стрелой (d).

трансмиссией: при правильно выбранном давлении на педаль акселератора автомобиль удерживается на склоне холма; если ослабить давление, автомобиль начнет скатываться назад, если же на педаль нажать несколько сильнее, машина поползет вверх. Крановщик (как и водитель автомобиля) может добиться нужного эффекта, т. е. удерживать груз в подвешенном состоянии, манипулируя тормозом, как он это обычно и делает. Гидравлическая трансмиссия по-

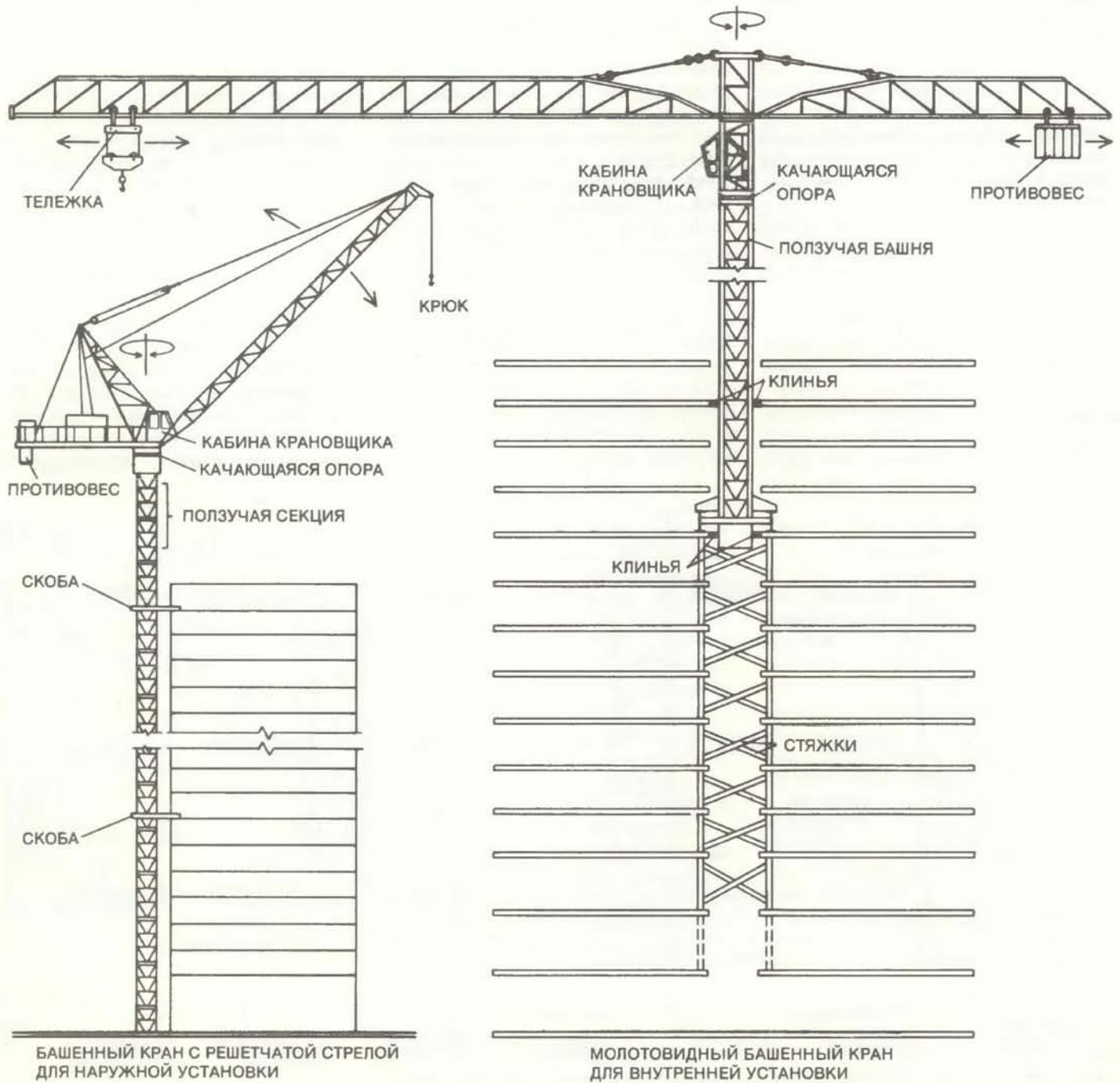
зволяет поднимать и опускать грузы более плавно, чем при использовании механических трансмиссий в старых моделях.

Башенные краны

Башенные краны поднимаются вместе с сооружаемым зданием, и крановщик видит обстановку внизу с высоты птичьего полета. Как и подвижные краны, они могут поворачи-

ваться и снабжены крюком для подъема и радиального перемещения грузов, но в остальных отношениях они мало похожи на подвижные краны.

Башенные краны могут подниматься почти на неограниченную высоту независимо от того, установлены они внутри или снаружи строящегося здания. Башенные краны, предназначенные для установки внутри строящегося здания, имеют «постоянную» конфигурацию: высота несущей башни остается неизменной в те-



БАШЕННЫЕ КРАНЫ выпускаются двух типов: для установки снаружи (слева) и внутри (справа) здания. Первые наращиваются по высоте по мере роста здания. У вторых высота башни остается постоянной, и они как бы ползут вверх вместе с сооружаемым зданием. В обоих случаях кабина крана возвышается над строящимся небоскребом, обеспечивая крановщику обзор с высоты птичьего полета

с самого начала до конца строительства. Башенные краны имеют либо поднимающуюся (слева), либо неподвижную (справа) горизонтальную стрелу. Краны второго типа (молотовидные) широко распространены, но не могут работать при наличии препятствий, например расположенных по соседству зданий, мешающих полному развороту стрелы. Эти два крана показаны в разном масштабе.

чение всего срока строительства. Кран поднимается на гидравлических домкратах, которые переставляются с этажа на этаж по мере роста здания (см. рисунок внизу). Вес крана обычно превышает 50 т.

Для возможности «переползания» крана с этажа на этаж в перекрытиях приходится оставлять временные проемы размером, несколько превышающим поперечное сечение башни. Вверху и внизу башня укрепляется клиньями, которые, опираясь на стены здания, передают им опрокидывающие и крутящие усилия, возникающие в башне. Для ограничения вращательного ускорения и скорости поворота стрелы и, следовательно, для ограничения крутящего эффекта, возникающего в башне под действием инерции массы поворачиваемого стрелой груза, в конструкции башни предусмотрены автоматические регуляторы.

Недостаток кранов этого типа в том, что по окончании работ они оказываются на крыше здания, откуда их необходимо снимать. Кран разбирается на части, которые спускаются вниз и грузятся в автомобили; на эту трудоемкую операцию может потребоваться несколько недель.

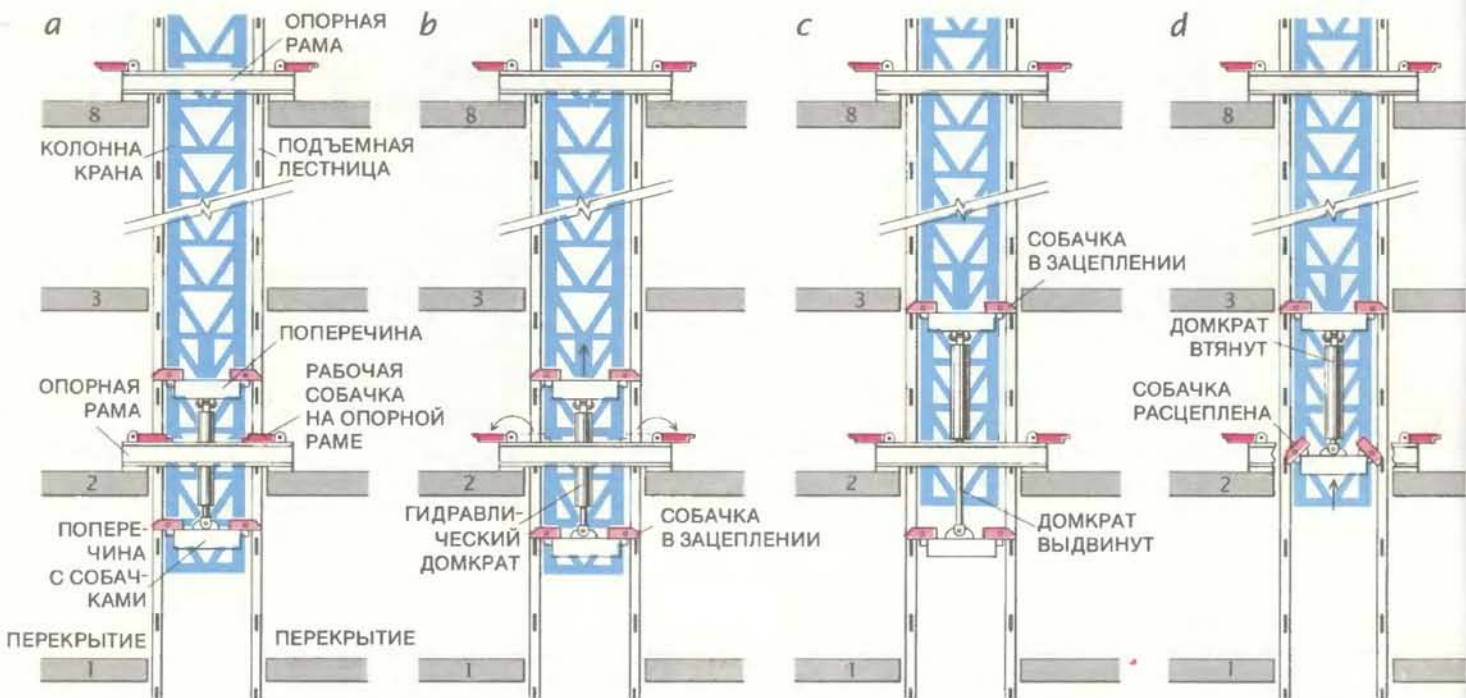
Краны наружной установки отличаются от предыдущих тем, что являются самонесущими и растут в высо-

ту вместе со строящимся зданием. Основание башни укрепляется на бетонном основании непосредственно вблизи здания, и в начальный период строительства кран стоит свободно. Когда здание возведено до восьмого этажа, башня прикрепляется связями к каркасу здания и «переползает» вверх. После этого верхняя часть крана поддомкрачивается, а снизу подводится новая башенная секция. По мере роста здания операция перестановки крана повторяется и добавляются новые поперечные связи через определенные интервалы.

Краны наружной установки демонтируются легче, чем внутренней (операция «переползания» можно повторять в обратном направлении до тех пор, пока башня не окажется достаточно низко для разборки подвижным краном), однако они применимы не на всех зданиях. Например, здания типа ступенчатых пирамид могут иметь ярусные уступы, так что башня оказывается на значительном удалении от стен и ее крепление поперечными связями становится затруднительным и дорогостоящим. Во всяком случае, расходы по монтажу и демонтажу башенных кранов часто настолько велики, что такие краны обычно применяются только на объектах со сроком строительства не менее шести месяцев.

Башенные краны, производимые в разных странах, имеют некоторые различия. Краны, выпускаемые в европейских странах, имеют электрический привод, ступенчатое регулирование скорости и ускорения и сложные тормозные механизмы. Производители кранов в Северной Америке и Австралии, учитывая запросы местных потребителей, выпускают преимущественно краны с гидравлическим приводом и дизельными двигателями. Во всех случаях башенные краны оборудуются многочисленными предохранительными устройствами, в частности автоматическими тормозами, срабатывающими при отказе приводной системы, и ограничителями скорости и перегрузки, защищающими кран от небрежной эксплуатации. Например, при правильно отрегулированных ограничителях крановщик не сможет привести в действие кран, если вес поднимаемого груза превышает установленный безопасный предел. Кроме того, рукоятки управления устроены таким образом, что при освобождении они возвращаются в нейтральное положение и автоматически включают тормоза.

Городской наблюдатель может обнаружить, что существует два типа башенных кранов: у одних стрела отклонена вверх от горизонтали и может перемещаться в вертикальной



ВНУТРЕННИЕ ПОЛЗУЧИЕ КРАНЫ перемещаются вверх с помощью гидравлической подъемной системы. На схематическом рисунке показаны две подъемные лестницы, расположенные вблизи крановой колонны. Кран взбирается вверх по перекладинам лестниц, подвешенных к опорной раме. Для этого попеременно выдвигается и втягивается шток гидравлического домкрата с поперечиной, имеющей по две защелки на каждом конце. Когда кран нахо-

дится в работе (а), шток домкрата и обе пары защепок находятся во втянутом положении и вес крана передается на две собачки у его основания. В начале подъема шток домкрата частично выдвигается давлением жидкости (b), нижние собачки входят в зацепление с перекладинами лестниц, которые таким образом воспринимают вес крана, а рабочие собачки закрываются. В следующем положении (с) шток домкрата выходит на полную длину и верхние со-

плоскости (краны с поднимающейся стрелой); у других стрела расположена горизонтально и всегда неподвижна (молотовидные краны). У первых угол стрелы в вертикальной плоскости может меняться, чтобы обеспечить радиальное перемещение крюка. Стрела молотообразного крана снабжена тележкой (тельфером), которая, бегая под стрелой, перемещает крюк в радиальном направлении. Так как стрела молотовидного крана не поднимается, краны такого типа могут использоваться только там, где нет препятствий круговому движению стрелы (например, соседних зданий). По этой причине краны с поднимающейся стрелой нашли более широкое применение на стесненных стройплощадках и там, где одновременно работают несколько кранов. Так, в Нью-Йорке число кранов с поднимающейся стрелой значительно превышает число молотовидных кранов.

Выбор крана

Определяющий фактор при выборе крана — тип строящегося здания. Современные небоскребы относятся к каркасным высотным зданиям двух основных категорий: со стальным каркасом и с железобетонным.

Элементы стального каркаса небо-

скребов могут весьма значительно различаться по весу. Например, каждая 8-метровая колонна каркаса в основании 50-этажного здания может весить до 25 т, тогда как колонны для вершины каркаса весят всего лишь одну тонну. Кроме того, цены на земельные участки в городах настолько высоки, что проектировщики иногда вынуждены использовать огромные элементы перекрытий, воспринимающие вес здания над атриумом или конференц-залом или даже передающие его на соседнее здание. Вес таких элементов, устанавливаемых на месте двумя синхронно работающими кранами, может превышать 100 т. Более того, в процессе строительства приходится искать и сортировать маркированные элементы каркаса. В стесненных городских условиях, когда территория стройплощадки мала, такую сортировку приходится производить наверху строящегося здания.

Таким образом, выбор крана для строительства здания со стальным каркасом в значительной степени определяется такими параметрами, как средний и максимальный вес поднимаемых элементов, удобство подъезда грузового транспорта к зданию, расположение сортировочной площадки и размер пространства для маневрирования крана.

Другие лимитирующие факторы определяют работу крана на строительной площадке, где возводится здание с железобетонным каркасом. Сборный бетон, часто применяемый в зданиях малой и средней высоты, производится на стороне и доставляется на строительную площадку автомобильным транспортом. Работа крана на монтаже бетонных панелей мало чем отличается от работы по сборке стального каркаса. При строительстве зданий из монолитного бетона (т. е. заливаемого на месте) в качестве критического параметра выступает скорость подачи бетонной смеси на верх строящегося здания. При строительстве типичного высотного здания башенного типа расход бетонной смеси может составлять около 200 м³ на этаж, что эквивалентно примерно 450 т бетона.

Если для сборки одного этажа здания со стальным каркасом требуется примерно 25 крановых подъемов, то на строительстве примерно такого же сооружения из монолитного бетона может уже потребоваться 150 крановых подъемов на этаж. Если сократить время подъема всего лишь на 30 с (60 с неизбежно приходится на холостой спуск), то экономия времени на строительстве стального каркаса окажется незначительной, тогда как на строительстве бетонного здания можно будет сэкономить 2,5 ч на

каждом этаже. Если, как это практикуется в Нью-Йорке, бетонные работы на каждом этаже должны быть по графику закончены в два дня, то оказывается, что прибыли подрядчика в значительной мере зависят от скорости работы крана.

Часто на стройплощадках можно видеть краны разных типов. На начальной стадии крупного строительства работу начинает малый автомобильный кран. Затем его сменяет более мощный подвижный кран, способный переносить тяжелые фундаментные блоки. Когда наступает время возводить этажи коробки здания из относительно легких каркасных элементов, на площадке устанавливается башенный кран. Если по графику (или каким-либо причинам) строительство должно быть закончено в сжатые сроки, то для выполнения наружных отделочных работ могут быть установлены дополнительные краны. Очень легкие и компактные материалы (кирпич, раствор, гипсовые панели, оконные и дверные переплеты и т. п.) выгоднее поднимать легким подъемником, смонтированным снаружи здания, а краны задействовать для более тяжелых работ.

Работающий кран подвергается действию многих сил, вызывающих напряжения в его элементах и угрожающих его устойчивости. К этим силам относятся вес груза, ветровая нагрузка (давление ветра), вес самого крана и инерция движущихся частей крана и груза. Возникающие усилия, разумеется, не должны превышать конструктивную прочность самого крана и прочность несущего грунта или здания, на котором кран установлен. Кроме того, кран должен обладать достаточной устойчивостью против опрокидывания. Например, для подвижных кранов устойчивость даже более важна, чем прочность. Максимальная допустимая нагрузка подвижного крана составляет 75—85% веса поднятого груза, вызывающего опрокидывание. Проектировщики кранов могут увеличивать грузоподъемность крана, сокращая вес стрелы (например, путем применения высокопрочных сталей), увеличивая массу противовеса или же увеличивая площадь опорной базы крана.

Масса противовеса на мощных подвижных кранах может достигать 75 т. Противовесы обычно набираются из секций, которые могут транспортироваться отдельно от крана. Противовес в совокупности с массой самого крана, двигателя и приводных механизмов придает надежную устойчивость крану. Однако, если противовес слишком тяжел, то ненагруженный кран может опрокинуться назад.

Подвижные краны на резиновом



бачки входят в зацепление. Затем домкрат втягивается (d), поднимая нижнюю поперечину и расцепляя нижние собачки. После многократного повторения этого цикла (так кран можно поднять на высоту 5—6 этажей) (e) рабочие собачки входят в зацепление и кран снова готов к работе.

ходу (автокраны) снабжаются аутригерами, которые в рабочем положении увеличивают устойчивость крана, удлиняя плечо опрокидывания, т. е. удаляя центр опрокидывания от корпуса машины. В большинстве случаев аутригеры выполнены в виде прочных балок, телескопически выдвигающихся по концам автомобильного шасси. На наружных концах аутригеров укреплены вертикальные домкраты. Для установки крана в рабочее положение аутригеры выдвигают на полную длину и кран поддомкрачивают.

При работе на подвижном кране крановщик должен принимать во внимание такие факторы, как длина стрелы, характер груза и влияние ветра и инерции. Давление ветра на большие плоские элементы, например стеновые панели, может быть значительным, и их лучше поднимать краном, когда скорость ветра достаточно мала. При повороте стрелы с грузом на нее действуют центробежные силы, которые могут снизить устойчивость крана; при ускорении и торможении на стрелу действуют поперечные силы, вызывающие боковые прогибы и соответствующие напряжения.

Башенные краны снабжены автоматическими устройствами для ограничения скорости поворота и ускорения, что позволяет ограничить влияние сил инерции. В подвижных кранах таких устройств нет, и работающие на них крановщики должны сами принимать определенные меры предосторожности. В то же время башенные краны, будучи неподвижными, больше подвержены действию ветровых ударов. При приближении ветровой бури стрелу подвижного крана можно опустить в безопасное положение, тогда как стрела башенного крана остается на месте и должна выдерживать ветровые удары. В связи с этим башенные краны рассчитываются на штормовую ветровую нагрузку. На практике обычно при приближении ветровой бури стрелу башенного крана освобождают, чтобы она могла, как флюгер, повернуться по ветру; это позволяет уменьшить ее сопротивление. В дни, когда скорость ветра превышает 50 км/ч, все краны обычно прекращают работу, хотя большинство башенных кранов рассчитаны на работу и при более высоких скоростях ветра.

Техника безопасности

Аварии кранов на городских строительных площадках бывают драматичными и часто вызывают волну общественного возмущения, проявляю-

щегося в обвинении строительных фирм в том, что они не принимают должных мер для защиты населения. Срыв троса с грузом или падение крана могут вызвать большие разрушения на прилегающих улицах, а иногда убить или покалечить пешеходов. Строительные рабочие подвергаются еще большему риску: работа на строительстве — опасное занятие, и особенно работа крановщика. Что же можно сделать, чтобы улучшить положение?

Большинство серьезных аварий кранов связано с перегрузкой, неправильным обращением с оборудованием, чрезмерным износом или повреждением тросов и несоблюдением правил техники безопасности при строительстве зданий и монтаже и демонтаже кранов (особенно башенного типа). Меньший, но довольно значительный процент аварий приходится на случаи потери несущей способности опоры крана, неправильное обслуживание оборудования и столкновения крановой стрелы с другими объектами. Большинство таких аварий могло быть предотвращено, если бы в свое время был проведен соответствующий инструктаж строительных рабочих, крановщиков и инженерно-технического персонала.

Однако причиной многих аварий кранов являются ошибки, допущенные на стадии разработки технической документации на строительство объекта. Неправильная установка крана или применение крана, не соответствующего характеру производимых работ, часто приводят к снижению безопасности. Известны случаи, когда крановщики делали героические усилия, пытаясь как-то исправить такие ошибки в проектах строительных работ. Их усилиям нужно отдать должное, но важнее осудить тех, кто допустил ошибки в проекте. Так как производство строительных работ на стесненных городских стройплощадках связано с высоким потенциальным риском для населения, необходимо, чтобы к оценке стройплощадок, проектированию подъемно-транспортных операций и выбору кранов для тех или иных условий строительства привлекались квалифицированные инженеры.

Рабочие операции, выполняемые на кранах (как и все другие операции, в которых принятие решения зависит от человека), нельзя полностью освободить от риска, но этот риск можно свести к минимуму. Для этого требуется инициатива местных властей при разработке инструкций по технике безопасности и достаточно высокая квалификация лиц, ответственных за установку кранов и за порядок выполнения строительных работ.

Книги издательства „Мир“

Дж. Бейли, Д. Оллис

ОСНОВЫ БИОХИМИЧЕСКОЙ ИНЖЕНЕРИИ

В 2-х частях

Перевод с английского

Фундаментальный труд, имеющий целью заполнить пробел, часто существующий между биологией и технологией на их пути в биотехнологии, т. е. он предназначен для биологов, не знакомых с основами технологии, и для технологов, не владеющих основами биологии.

Из отзыва доктора химических наук А. Л. Русанова: «В последние десять лет биотехнология стремительно внедряется во все новые отрасли производства. Особенно велики ее достижения в медицинской промышленности. Дальнейший же успех инженерной биохимии требует глубокого осмысления процессов, осуществляемых с использованием таких биологических агентов, как клетки, ферменты или антитела, а также правильного выбора стратегии и методологии реализуемых процессов. В этом смысле рецензируемая книга представляется чрезвычайно полезной».

Для студентов и преподавателей биологических и технологических специальностей, научных работников, ведущих исследования в области биотехнологии, инженеров, работающих в микробиологической и медицинской промышленности.

Предварительные заказы направляйте в магазины, распространяющие научно-техническую литературу до 1 июля 1988 г.

Издательство заказы не принимает.

1989, 80 л. Цена 12 р. 60к. за комплект.



НЕ СЧЕСТЬ У РОБОТА ПРОФЕССИЙ

Под редакцией П. Марша

Перевод с английского

История естествознания и техники богата примерами, свидетельствующими о неиссякаемом стремлении человека создать механизмы и устройства, подобные живым существам, которые могли бы служить либо забавными игрушками, либо надежными помощниками при выполнении сложной или опасной работы. В наши дни на смену симпатичным, но довольно неуклюжим и малоэффективным автоматам прошлого пришли более простые по конструкции и очень практичные системы — роботы и манипуляторы, появление которых вызвано прежде всего насущными потребностями производства.

Современные робототехнические устройства — это не просто усовершенствованные варианты их примитивных предшественников; в их основе лежит принципиально новая технология, получившая развитие лишь во второй половине нашего столетия: информатика и вычислительная техника. В наши дни роботы проникли во все области человеческой деятельности: на производство, в сферу обслуживания, в повседневный быт человека. Неоценимую помощь они оказывают при подводных работах, на атомных станциях, в космосе. Значительные перспективы открываются перед ними и в сфере образования.

Как прообраз будущего, роботы на протяжении десятилетий живут на страницах научно-фантастических произведений, их кинематографические прототипы поражают воображение людей, особенно молодежи. Но в наше стремительное время действительность нередко опережает самые смелые полеты фантазии. Именно в этом убеждает нас яркая и красочная кни-

га, написанная группой американских и английский авторов. С ее страниц читателю открывается удивительный мир, населенный роботами, которые без устали трудятся на конвейерах предприятий, занимаются подводными исследованиями, следят за радиационной обстановкой на атомных станциях, выполняют десятки других самых невероятных работ. Особенно поражают воображение роботы, используемые в космосе. Так, в книге рассказывается о чудо-устройстве, 11-метровой руке-манипуляторе, созданной канадской фирмой «СПАР аэропейс», с помощью которой удастся снимать с орбиты спутники, вышедшие из строя или отработавшие свой век. Наделенные зрением, осязанием, слухом, роботы становятся надежными и терпеливыми сиделками у постели больных и инвалидов, служат поводьями слепых. Поистине не счесть у робота профессий!

Прекрасные фотографии позволяют читателю буквально воочию представить себе уникальные устройства, которым в недалеком будущем суждено прочно войти в нашу жизнь.

Авторы ставят также проблемы социального и этического характера; только серьезно задумываясь над ними сейчас, мы сможем направить развитие робототехники в нужное русло, поставить роботов на службу человеку.

Книга адресована самому широкому кругу читателей: она, несомненно, заинтересует непрофессионалов, немало полезного найдут в ней и специалисты. Но прежде всего она предназначена молодежи, которой предстоит жить на Земле в XXI веке.

1987, 31 л., 7 р. 50 к. .

Эту книгу можно купить в Московском Доме книги

Адрес магазина: 121019 Москва, просп. Калинина, 26,

п/я 42, магазин № 200



Отчего у леопарда пятна на шкуре

Возможно, в основе широкого разнообразия раскрасок шкуры у животных, наблюдаемого в природе, лежит единый механизм формирования таких структур. Результаты математического моделирования этого механизма открывают биологам новые перспективы для исследований

ДЖЕЙМС Д. МАРРИ

МЛЕКОПИТАЮЩИЕ демонстрируют исключительное разнообразие структур раскраски шкуры. Для этого было предложено много объяснений, но большинство из них настолько же «убедительны», как и чудесная сказка Редьярда Киплинга «Отчего у леопарда пятна на шкуре». Хотя установлено, что гены управляют процессами, протекающими при формировании структуры (узоров) раскраски шкуры, реальные механизмы, которые ее определяют, пока не известны. Как с точки зрения эволюционной биологии, так и с точки зрения биологии развития было бы замечательно, если бы оказалось, что в основе огромного разнообразия раскрасок шкуры у животных, наблюдаемого в природе, лежит единый механизм.

Я сделал предположение, что большинство (если не все) из наблюдаемых типов структур раскраски шкуры у животных могут действительно определяться одним механизмом их формирования. В данной статье кратко описана простая математическая модель образования этих структур в процессе развития зародыша. Важная особенность заключается в том, что структуры, полученные с ее помощью, поразительно напоминают раскраску шкуры у многих животных, таких как леопард, гепард, ягуар, зебра и жираф. Эта модель согласуется также с тем наблюдением, что, хотя распределение пятен у представителей семейства кошачьих и полос у зебр сильно различается и сугубо индивидуально, каждый тип распределения придерживается как бы общей закономерности. Кроме того, модель предсказывает, что такие структуры могут иметь лишь определенные формы. Это в свою очередь предполагает наличие некоторых запретов на их возможное развитие и позволяет понять, каким образом структуры рас-

краски шкуры могли эволюционировать.

Пока с полной достоверностью не установлено, что именно происходит в процессе развития зародыша и вызывает образование узоров на шкуре у животных. В настоящее время имеется несколько вероятных механизмов их формирования. Привлекательность нашей модели заключается в ее математическом богатстве и поразительной способности давать структуры, соответствующие наблюдаемым в природе. Я надеюсь, что эта модель подтолкнет экспериментаторов к дальнейшим исследованиям, что в конечном счете поможет установить биологический механизм образования различной раскраски шкуры у животных.

КОНЕЧНО, нельзя сказать, что о природе узоров на шкуре у животных ничего не известно. Пятна на шкуре у млекопитающих соответствуют областям по-разному окрашенных волос. Цвет волос определяется специализированными пигментными клетками, называемыми меланоцитами, которые находятся в базальном (наиболее глубоком) слое эпидермиса. Меланоциты вырабатывают пигмент, называемый меланином, который затем переходит в волосы. У млекопитающих есть в основном только два вида меланина: эумеланин (от греческих слов «эу» — хороший и «мелас» — черный), окрашивающий волосы в черный или коричневый цвет, и феомеланин (от «феос» — пыльный), который делает волосы желтыми или рыжими.

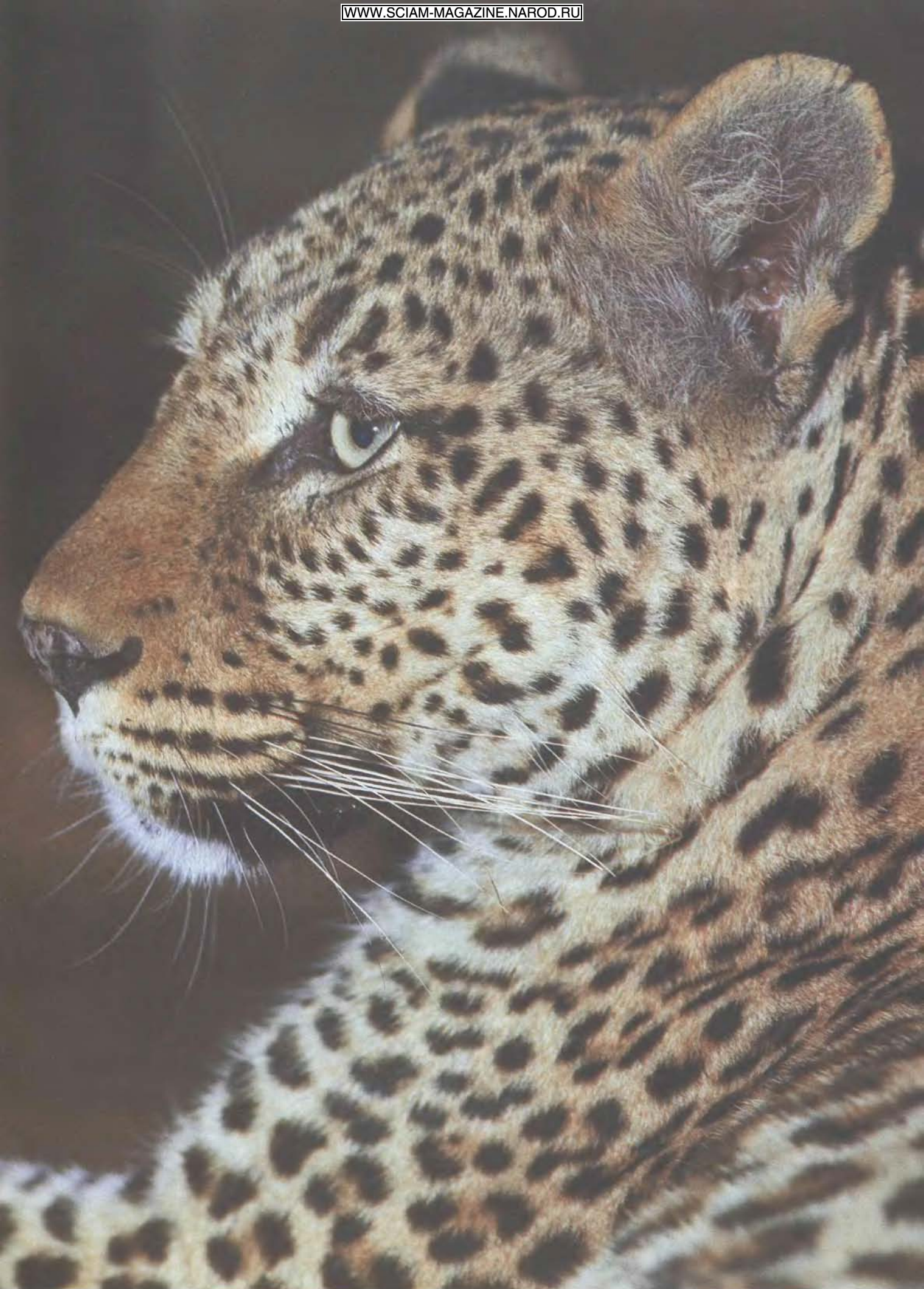
Предполагают, что меланоциты производят или не производят меланин в зависимости от наличия или отсутствия химических активаторов или ингибиторов. Хотя пока не известно, что это за вещества, считают, что каждый имеющийся на шкуре узор

отражает лежащую в его основе предварительную химическую структуру. Эта предварительная структура (предструктура), если она существует, должна возникать внутри эпидермиса или сразу под ним. При этом меланоциты как бы «считывают» предструктуру. Модель, которая описывается в данной статье, способна генерировать такую предструктуру.

Моя работа основана на модели, разработанной А. Тьюрингом (который ввел концепцию абстрактной «вычислительной машины» — так называемой машины Тьюринга; его труды способствовали созданию современных ЭВМ). В 1952 г. в одной из наиболее важных в теоретической биологии работ Тьюринг ввел химический механизм возникновения узоров на шкуре у животных. Он предположил, что биологическая форма определяется предструктурой, образованной неравномерным распределением (концентрацией) химических веществ, которые он назвал морфогенами. Существование морфогенов до настоящего времени окончательно не установлено, за исключением некоторых косвенных подтверждений. Тем не менее модель Тьюринга до сих пор представляет интерес, поскольку она позволяет объяснить множество экспериментальных результатов с помощью одной или двух простых идей.

Тьюринг начал с предположения о том, что морфогены могут реагировать друг с другом и диффундировать через клетки. Затем он разработал математическую модель, в которой показал, что если морфогены реагируют и диффундируют определенным

ЛЕОПАРД отдыхает. Возможно ли с помощью математических, так же как и генетических, закономерностей объяснить возникновение пятен на его шкуре?



образом, то из первоначально однородного распределения в скоплении клеток могут возникнуть пространственные структуры в распределении морфогенов. Модель Тьюринга породила целый класс моделей, которые теперь относят к моделям реакционно-диффузионного типа. Эти модели применимы в тех случаях, когда размер пространственной структуры велик по сравнению с размером отдельных клеток, например для шкуры леопарда, поскольку в пятне на его шкуре в момент возникновения структуры имеется, вероятно, около 100 клеток.

Первоначальная работа Тьюринга была развита рядом исследователей, в том числе и мною, в более совершенную математическую теорию. В типичной реакционно-диффузионной модели начинают с того, что вводят два морфогена, которые реагируют друг с другом и диффундируют с различными скоростями. В отсутствие диффузии (например, в случае идеального перемешивания) в результате ре-

акции между двумя морфогенами система должна достигнуть однородного стационарного состояния. Если теперь позволить морфогенам диффундировать с одинаковыми скоростями, то любое пространственное отклонение от этого устойчивого состояния будет сглаживаться. Однако, если скорости диффузии не равны, диффузия может оказывать дестабилизирующее влияние: скорости реакции в любой заданной точке могут не успеть достаточно быстро «подстроиться», чтобы система достигла равновесия. Если условия выбраны правильно, то малое пространственное возмущение может стать неустойчивым и начинает расти пространственная структура. Говорят, что такая неустойчивость обусловлена диффузией.

В РЕАКЦИОННО-ДИФФУЗИОННЫХ моделях предполагается, что один из морфогенов, является активатором, который заставляет меланоциты производить меланин какого-либо вида,

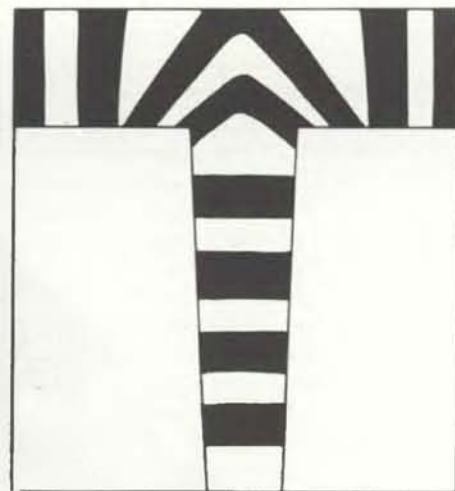
например черного, а другой — ингибитором, дающим команду пигментным клеткам не вырабатывать меланин. Предположим, что в этих реакциях активатор локально увеличивает свою концентрацию и одновременно производит ингибитор. Если ингибитор диффундирует быстрее активатора, то образуется «остров» высокой концентрации активатора в области высокой концентрации ингибитора.

Некоторое представление о том, как такой активаторно-ингибиторный механизм может создать пространственные структуры в распределении концентрации морфогенов, можно получить из следующей аналогии. Пусть имеется очень сухой лес, иными словами, есть все условия для лесного пожара. Чтобы свести к минимуму возможный урон, по всему лесу рассредоточены пожарные с противопожарным снаряжением и вертолеты. Теперь представим, что вспыхивает пожар (активатор). От места воспламенения начинает двигаться фронт огня. Первоначально поблизо-



МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, называемая реакционно-диффузионным механизмом, дает структуры, которые поразительно напоминают узоры на шкуре у некоторых животных. Показаны узоры на хвосте у леопарда (слева), ягу-

ра и гепарда (в середине) и генеты (справа), а также структуры, полученные с помощью этой модели для сужающихся цилиндров разного диаметра (справа на каждом рисунке).



ПОЛОСЫ У ЗЕБРЫ в области соединения передней ноги и туловища (слева) можно смоделировать с помощью диффузионного механизма (вверху).

сти от места пожара недостаточно пожарных (ингибитора), чтобы погасить огонь. Однако с помощью вертолетов пожарные могут обогнать фронт огня и обработать деревья реактивами, которые не позволят им загореться. Когда огонь достигнет обработанных деревьев, он погаснет. Фронт остановится.

Если пожары спонтанно возникают в разных местах леса, то через какое-то время сформируются несколько распространяющихся фронтов огня (волн активации). В свою очередь это заставит пожарных на вертолетах (волны ингибирования) обогнать каждый фронт и остановить его на некотором расстоянии от места воспламенения. Конечным результатом такого сценария будет лес с черными пятнами сгоревших деревьев, перемежающимися с пятнами зеленых нетронутых деревьев. В принципе полученная картина имитирует результат, даваемый реакционно-диффузионными механизмами, обусловленными диффузией. Тип образующейся структуры зависит от различных параметров модели и может быть получен из математического анализа.

Предложено много конкретных реакционно-диффузионных моделей, основанных на гипотетических или реальных биохимических реакциях, и исследованы их возможности давать пространственные структуры. Эти механизмы включают несколько параметров: скорости реакций, скорости диффузии реагентов и (что особенно важно) геометрию и размеры живой ткани. Поразительное свойство реакционно-диффузионных моделей заключается в тех конечных результатах, которые получаются из первоначально однородного состояния при условиях, когда меняется

только один параметр, а остальные фиксированы. Например, предположим, что меняется размер живой ткани. Тогда в какой-то момент времени будет достигнута критическая величина, называемая бифуркационной точкой, в которой однородное стационарное состояние морфогенов становится неустойчивым, и начинает расти пространственная структура.

Наиболее наглядный пример реакционно-диффузионного механизма образования пространственных структур представляют колебательные химические реакции, открытые советскими учеными Б. П. Белоусовым и А. М. Жаботинским в конце 50-х годов. Эти реакции могут быть организованы в пространстве и во времени в форме кольцевых волн. Они могут сопровождаться периодическими колебаниями с точностью часового механизма, что наблюдается по изменению цвета реакционной смеси, например, от голубого до оранжевого и обратно до голубого дважды в течение минуты.

Другой тип реакционно-диффузионных структур в природе был открыт и исследован французским химиком Д. Томасом в 1975 г. Эти структуры возникают при реакции между мочевой кислотой и кислородом на тонкой мембране, внутри которой они могут диффундировать. Хотя мембрана содержит иммобилизованный фермент, катализирующий реакцию, в эмпирическую модель, описывающую ее механизм, входят только два реагента, а фермент не включен. Кроме того, поскольку мембрана тонкая, можно предположить, что процесс протекает в двумерном пространстве.

Я полагаю, что достойным кандидатом для универсального механиз-

ма, генерирующего предструктуру раскраски шкуры у млекопитающих, является реакционно-диффузионная система, в которой могут развиваться пространственные структуры, обусловленные диффузией. Такие структуры существенно зависят от геометрии и размеров области, в которой протекает соответствующая химическая реакция. Следовательно, величина и форма зародыша в тот момент, когда активируются реакции, должны определять получившуюся пространственную структуру. (Последующий рост может исказить первоначальную структуру.)

ЛЮБОЙ реакционно-диффузионный механизм, обуславливающий возникновение пространственных структур, мог бы быть подходящей моделью для формирования раскраски шкуры у животных. Численные и математические результаты, которые я привожу в этой статье, основаны на модели, вытекающей из работы Томаса. При использовании типичных значений параметров время формирования раскраски шкуры в процессе эмбриогенеза составляет около суток.

Интересно, что математическая задача описания начальных стадий формирования пространственной структуры с помощью реакционно-диффузионных механизмов (когда отклонение от однородного состояния невелико) аналогична математической задаче описания колебаний тонких пластинок или поверхности барабана. Таким образом, характер зависимости роста структуры от ее геометрии и размеров можно понять, рассматривая аналогичные вибрирующие поверхности.



ПРИМЕРЫ ПОРАЗИТЕЛЬНЫХ СТРУКТУР раскраски, существующих в природе, дают муравьед (слева) и безоаровый козел. Их формирование можно объяснить с помощью реакционно-диффузионного механизма (см. рисунок внизу).

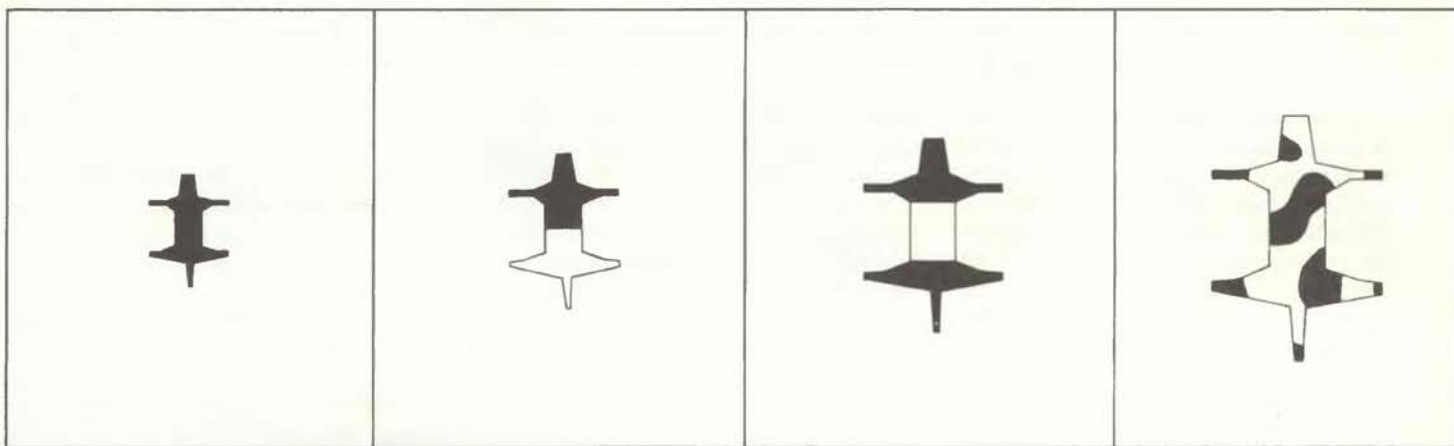
Если поверхность очень мала, она не сможет поддерживать колебания и возмущения быстро затухнут. Следовательно, чтобы возбудить незатухающее колебание, необходима поверхность определенного размера. Предположим, что поверхность, соответствующая реакционно-диффузионной области, имеет прямоугольную форму. По мере увеличения размеров прямоугольника возникает набор все более усложняющихся мод возможных колебаний.

Важным примером того, как геометрия ограничивает эти колебатель-

ные моды, является ситуация, когда область настолько узка, что могут существовать только простые — по существу одномерные — моды. Для истинно двумерных структур нужна область, имеющая достаточно большие как длину, так и ширину. Аналогичное требование для колебаний на поверхности цилиндра заключается в том, что его радиус не может быть слишком мал, в противном случае могут существовать только квазиодномерные моды; другими словами, могут образовываться только кольцеобразные структуры. Однако, если

радиус достаточно велик, на поверхности могут существовать двумерные структуры. Следовательно, сужающийся цилиндр может демонстрировать переход от двумерной структуры к простым полосам (см. рисунок на с. 48).

Для реакционно-диффузионного механизма с двумя морфогенами я выбрал такой набор параметров реакции и диффузии, который соответствует диффузионной неустойчивости, и сохранил их неизменными при всех вычислениях. Изменялись только размеры и геометрия рассматриваемой



ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ на моделируемые структуры раскраски для обобщенной формы животного. Увеличение размеров при фиксированных остальных параметрах дает по-

разительное разнообразие структур. Реакционно-диффузионная модель, разработанная автором данной статьи, согласуется с теми наблюдениями, что маленькие живот-



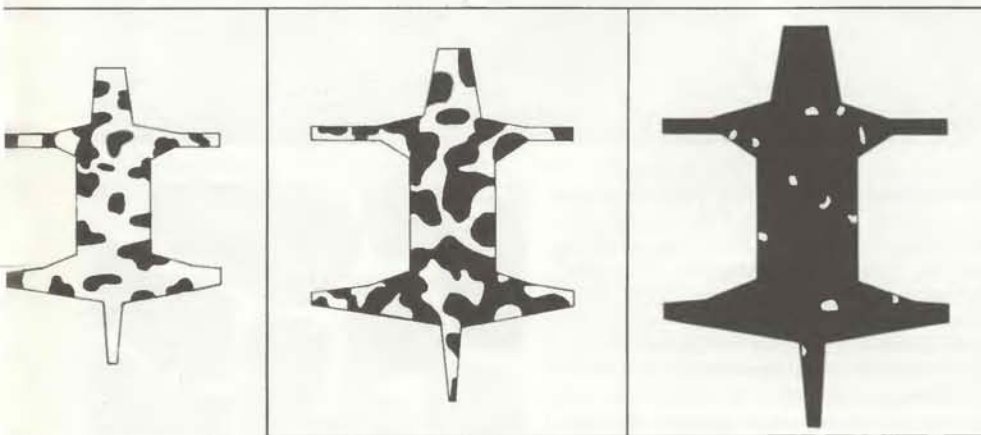
зу). Рисунок муравьеда впервые опубликован Г. и В. Уиттакерами в феврале 1824 г.; фотография безоарового козла сделана А. Бароном и П. Мунро.

области. При моделировании на компьютере в качестве начальных условий я выбирал случайные возмущения однородного стационарного состояния. Темные или светлые области получившейся структуры — это те, в которых концентрация одного из морфогенов соответственно больше или меньше его концентрации в однородном стационарном состоянии. Даже при таких ограничениях на параметры и начальные условия богатство возможных структур поразительно.

Как результаты модели соотносят-

ся с типичными узорами на шкуре и общими признаками, обнаруживаемыми у животных? Я начал с рассмотрения сужающихся цилиндров, чтобы смоделировать узоры на хвостах и лапах животных. Результаты аналогичны тем, что были получены для вибрирующей поверхности: если двумерная область, покрытая пятнами, становится достаточно узкой, то пятна постепенно переходят в полосы.

Леопард (*Panthera pardus*), гепард (*Acinonyx jubatus*), ягуар (*Panthera onca*) и генета (*Genetta genetta*) дают хорошие примеры таких структур.



ные, такие как мыши, имеют равномерно окрашенные шкуры, животные промежуточных размеров — узорчатые шкуры, а окраска крупных животных, таких как слоны, снова однородна.

Пятна на шкуре у леопарда доходят почти до кончика хвоста. Хвосты у леопарда и ягуара имеют отчетливо выраженные полосатые участки, а у генеты хвост полностью полосатый. Эти наблюдения согласуются с тем, что известно о зародышах этих четырех животных. Хвост у зародыша леопарда резко сужается и сравнительно короткий, поэтому можно ожидать, что на нем могут сохраняться пятна до самого его кончика. (У взрослого леопарда хвост длинный, но в нем столько же позвонков.) Хвост у зародыша генеты соответствует другому крайнему случаю: он имеет почти постоянный, причем довольно малый, диаметр, поэтому на хвосте генеты должны возникать поперечные полосы.

Модель дает также пример запрета на структуры определенного типа, которые действительно наблюдаются у животных исключительно редко. Если в основе механизма формирования предструктуры раскраски шкуры у животных лежит реакционно-диффузионный процесс (или любой другой процесс, который аналогичным образом зависит от размеров и геометрии), запрет обусловлен размерами и геометрией зародыша. В частности, модель допускает, что пятнистое животное может иметь полосатый хвост, но у полосатого животного не может быть пятнистого хвоста.

Мы добились успеха также в попытках понять, как возникает узор на шкуре у зебры. С помощью использованного нами механизма нетрудно получить набор полос. Более сложной является область соединения передних ног и туловища, однако математическая модель верно предсказывает типичную картину полос в области лопаток (см. рисунок на с. 49).

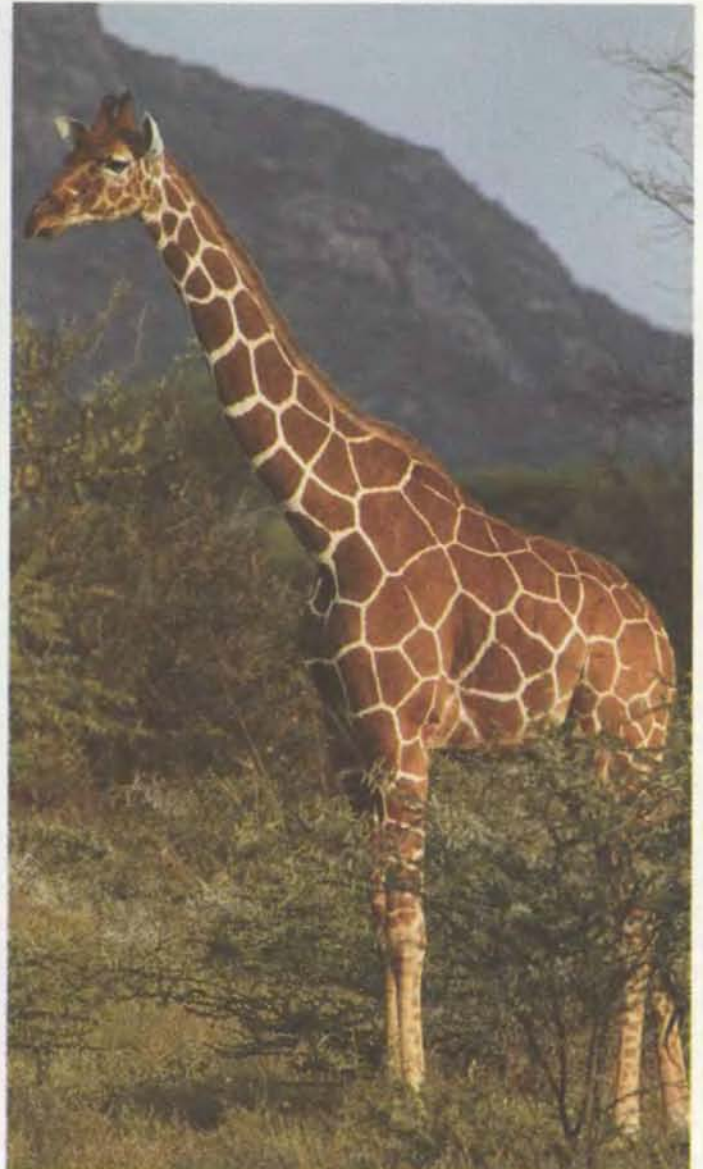
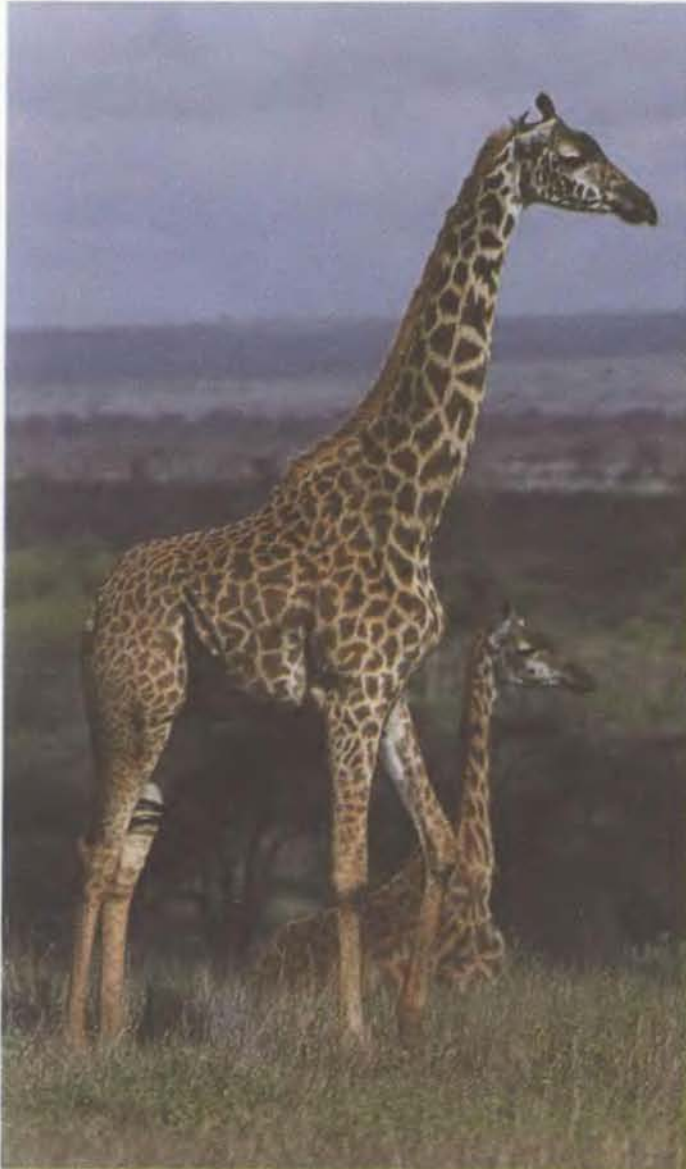
Чтобы изучить влияние размеров в случае более сложной геометрии, мы рассчитали структуры для обобщенной формы животного, состоящей из тела, головы, четырех конечностей и хвоста (см. рисунки внизу на с. 50, 51). Мы начинали с маленькой фигуры и постепенно увеличивали ее размер, сохраняя все пропорции. Получено несколько интересных результатов. Если рассматриваемая область очень мала, не возникает никаких структур. По мере увеличения ее размеров происходят последовательные бифуркации: различные узоры внезапно возникают и пропадают. При дальнейшем увеличении размеров структуры становятся более сложными и с большим числом пятен. Однако в случае удлиненной узкой формы полосатый узор сохраняется даже тогда, когда область становится довольно большой. При очень больших разме-

рах области структура узора делается столь мелкой, что окраска становится опять почти однородной по цвету.

ЕСЛИ реакционно-диффузионная модель справедлива, то для объяснения влияния размеров зародыша животного на структуру раскраски его кожи первостепенное значение имеет момент времени, в который активируется механизм формирования этой структуры в процессе эмбриогенеза. Мы ввели неявное предположе-

ние, что соответствующие константы скоростей реакции и диффузионные коэффициенты примерно одинаковы для разных животных. Если механизм активируется генетически на ранней стадии развития, тогда, например, окраска многих небольших животных, имеющих короткие сроки беременности, должна быть однородной по цвету. В общем случае это действительно так. Для поверхностей большей площади в момент активации существует возможность того,

что животное наполовину будет черным и наполовину белым. Примером служит муравьед и паразитично окрашенный безоаровый козел (*Capra aegagrus hircus*) (см. рисунки сверху на с. 50, 51). По мере увеличения размеров одновременно должна возрастать сложность возникающей структуры. Фактически наблюдается нарастание сложности окраски от безоарового козла к зебре, а затем к леопарду и гепарду. Наконец, шкуры у очень больших животных снова



РАЗНОВИДНОСТИ ЖИРАФА имеют различную раскраску. Подвид *Giraffa camelopardalis tippelskirchi* характеризуется довольно мелкими пятнами, разделенными широкими промежутками (вверху слева); напротив, *G. camelopardalis reticulata* покрыты обширными близко расположенными пятнами (вверху справа). Оба типа структур можно объяснить с помощью реакционно-диффузионной модели (внизу слева и внизу справа). Предполагается, что во время «закладки» структуры возраст зародыша 35 — 45 сут, а длина — примерно 8 — 10 см.

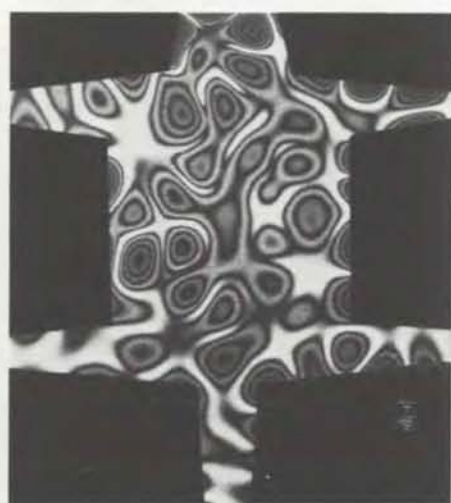
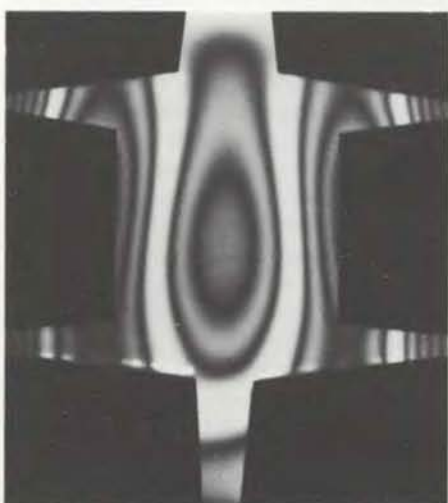


должны быть однородными по цвету, что на самом деле имеет место у слонов, носорогов и бегемотов.

Мы считаем, что момент времени, в который активируется механизм формирования структуры, — наследуемое свойство, поэтому по крайней мере для животных, выживание которых в значительной степени зависит от раскраски, механизм активируется тогда, когда зародыш достигает определенного размера. Конечно, условия на поверхности зародыша в момент активации носят в некоторой степени случайный характер. Реакционно-диффузионная модель дает структуры, которые однозначно зависят от начальных условий, геометрии и размеров. Важная особенность этого механизма заключается в том, что при заданных геометрии и размерах получающиеся структуры для разных случайных начальных условий качественно одинаковы. Например, если структура пятнистая, то меняется только распределение пятен. Этот результат согласуется с тем, что внутри одного вида узор на шкуре животного индивидуален. Такая индивидуальность учитывает отличительные особенности семейства, а также общие групповые особенности.

Предполагают, что моделируемые структуры соответствуют пространственным структурам в распределении морфогенов. Если их концентрация достаточно высока, меланоциты будут вырабатывать пигмент меланин. Для упрощения мы считали, что однородное стационарное состояние соответствует пороговой концентрации и что меланин будет вырабатываться, если концентрация морфогенов равна или больше этой величины. Однако это предположение несколько произвольно. По-видимому, пороговая концентрация может меняться даже внутри одного вида. Чтобы исследовать такие эффекты, были рассмотрены разновидности жирафа. Для заданного характера структуры изменялся параметр, соответствующий пороговой концентрации морфогена для производства меланина. Меняя этот параметр, мы обнаружили, что можем получать структуры, явно напоминающие узоры на шкурах жирафов двух разновидностей (см. рисунок на с. 52).

НЕДАВНО наши результаты нашли неожиданное подтверждение в работах Ч. Веста и Сюй Южэня из Мичиганского университета. Они создавали стоячие волны на вибрирующей пластинке и изменяли вид возникающих структур, меняя частоту колебаний. Структуры стано-



СТРУКТУРЫ СТОЯЧИХ ВОЛН, генерируемых на тонкой вибрирующей пластинке, напоминают узоры на шкуре у животных, что подтверждает реакционно-диффузионную модель. Более сложные структуры соответствуют более высоким частотам колебаний. Эксперименты проведены Ч. Вестом и Сюй Южэнем.

вились видимыми с помощью голографии, когда пластинка освещалась лучом лазера. Отраженный от нее свет интерферировал с опорным лучом, так что гребни волн складывались с гребнями, впадины — с впадинами, а впадины и гребни взаимно уничтожались. Возникающая картина фиксировалась на фотопластинке (см. рисунок сверху).

Вест и Сюй Южэнь обнаружили, что низкие частоты колебаний создают простые структуры, а высокие — сложные структуры. Это наблюдение представляет интерес, поскольку было показано, что если структура образуется на пластинке, колеблющейся с заданной частотой, то структура, образующаяся на той же пластинке, колеблющейся с большей частотой, идентична структуре, образующейся на пропорционально увеличенной пластинке, колеблющейся с первоначальной частотой. Таким образом, данные Веста и Сюй Южэня подтверждают вывод о том, что по мере увели-

чения размеров реакционно-диффузионной области должны возникать все более сложные структуры. Сходство между нашими структурами и структурами, полученными исследователями из Мичиганского университета, поразительно.

Я бы хотел еще раз подчеркнуть, что все структуры были получены только за счет изменения размеров и геометрии реакционной области; все другие параметры были фиксированы (за исключением различных пороговых концентраций в случае жирафа). Даже в этих условиях разнообразие структур замечательно. Модель предлагает также возможное объяснение различных аномалий в раскраске, наблюдаемых у ряда животных. При некоторых условиях изменение величины одного из параметров может вызвать заметное изменение получаемой структуры. Величина этого эффекта зависит от того, насколько близко значение параметра к бифуркационной точке — значению, при ко-

тором возникает качественное изменение генерируемой структуры.

Если один из параметров, например константа скорости в реакционной кинетике, непрерывно меняется, то реакционно-диффузионный механизм переходит от состояния, в котором не могут возникать никакие структуры, к состоянию, в котором структуры генерируются, и, наконец, обратно к состоянию без структур. Тот факт, что такие малые изменения параметра около бифуркационной точки могут вызвать столь значительные изменения в структуре, согласуется с теорией эволюции, известной под названием «прерывистое равновесие». Согласно этой теории, длительные периоды малых эволюционных изменений прерываются короткими всплесками внезапных и быстрых изменений.

НА РАСКРАСКУ шкуры у животных, безусловно, влияют многие факторы. Некоторые из них — это температура, влажность, питание, гормоны и интенсивность метаболиз-

ма. Хотя влияние таких факторов, вероятно, можно имитировать, используя различные параметры, в этом нет особого смысла, пока не станет больше известно о том, как действительно образуются структуры, отображаемые меланиновыми пигментами. В то же время нельзя не отметить широкого разнообразия структур, которые могут быть получены из реакционно-диффузионной модели при изменении только размеров и геометрии. Вселяет энтузиазм множество косвенных подтверждений, полученных из сопоставления модели с конкретными особенностями раскраски шкуры у животных. Я убежден, что большинство существующих узоров раскраски может быть получено с помощью реакционно-диффузионной модели. Тем не менее тот факт, что многие общие и специфические черты раскраски шкуры у млекопитающих могут быть объяснены с помощью этой простой теории, еще не значит, что она правильна. Теорию могут подтвердить только экспериментальные наблюдения.

Дж. Де-Лоуч из Иллинойского университета в Эрбана-Шампейн, дети научаются понимать, что всякий объект можно считать «и вещью самой по себе, и символом чего-то еще». Уже давно было ясно, что эта способность к символическому восприятию является критерием познавательной деятельности человека, однако наука не установила, когда же на самом деле формируется эта способность у ребенка.

В статье, опубликованной в журнале «Science», Де-Лоуч сообщает об успешной попытке определить этот момент. Она провела эксперимент с 32 детьми: 16 из них были в возрасте 2,5 лет и 16 — 3 лет. Каждый ребенок наблюдал, как маленькую игрушку прятали в «кукольной» комнате, вся обстановка которой соответствовала в масштабе настоящей комнате (к примеру, маленькую собачку ставили за кукольную тахту). Затем ребенка приводили в настоящую комнату и просили найти настоящую игрушку, спрятанную в соответствующем месте (большую собаку за настоящей тахтой). В конце, для проверки памяти, ребенка просили снова найти маленькую игрушку в кукольной комнате.

«Чтобы выполнить задание, — говорит Де-Лоуч, — ребенок должен был осознать, что кукольная комната (модель) представляет настоящую комнату и что, вспомнив, где предмет был в модели, он или она может определить местонахождение предмета в комнате».

Дети в возрасте 2,5 лет, согласно Де-Лоуч, понимали, что от них требуется найти игрушку, но «не подозревали, что могут сразу определить, где находится игрушка, не занимаясь ее поисками». Вся эта группа вела поиск не очень продуктивно, несмотря на то что дети хорошо помнили, где была миниатюрная игрушка в модели.

Напротив, подход к этой задаче трехлетних детей ярко освещает «резкое изменение в развитии». Полагаясь на память, а не опираясь на догадки, они с «почти постоянным» успехом решали задачу на нахождение обоих объектов. Будучи старше всего на полгода, трехлетки оказались способными определять, где спрятана игрушка, основываясь на «символическом соответствии» между моделью и настоящей комнатой.

Почему же этого соответствия не видят дети меньшего возраста? Как предполагает Де-Лоуч, эти дети уже могут интерпретировать картины как представление чего-то другого, но еще не способны к «двойственной ориентации», необходимой для осознания того, что реальный трехмерный объект, такой, как уменьшенная

Наука и общество

Где спрятана собака?

ПРИМЕРНО между двумя с половиной и тремя годами дети делают скачок в развитии познавательных

способностей, который обнаруживается так же ярко и отчетливо, как появление первого зуба. В этот короткий промежуток времени, говорит



РЕБЕНОК НАБЛЮДАЕТ, как экспериментатор прячет маленькую игрушечную собачку в кукольной комнате (модели). После этого ребенок должен отыскать подобную большую собаку в настоящей комнате.

модель, также может быть символом. Во втором эксперименте другой группе детей в возрасте 2,5 лет предъявлялись не модель комнаты с игрушкой, а картинка. В этом случае они без труда находили игрушку в комнате. Однако в эксперименте с моделью они показывали столь же неважные результаты, что и первая младшая группа.

«Защитники данных» терпят поражение

ЗАВЕРШИЛАСЬ поражением длительная борьба Пентагона за установление контроля над гражданскими электронными информационными системами в частности теми, в которых хранится научно-техническая информация, представляющая, как полагают, интерес для Советского Союза. Окончание этой борьбы ознаменовалось тихой церемонией подписания законопроекта, состоявшейся в Белом доме в начале этого года.

Однако полностью ли закончена эта борьба? Официально она началась в 1984 г., когда президент Рейган опубликовал «директиву по вопросу о национальной безопасности», в которой говорится, что открытая, но «чувствительная» информация, хранящаяся в компьютерах и передаваемая по каналам связи — как правительственным, так и частным, «может стать объектом повышенного интереса со стороны других государств». В соответствии с этой директивой был создан специальный комитет, возглавляемый агентством национальной безопасности (АНБ), входящим в состав министерства обороны, для выработки более жестких стандартов по обеспечению защиты данных.

Деятельность АНБ, в задачи которого входит предотвращение доступа иностранных разведок к закрытой информации США, а также перехват информации, передаваемой по иностранным каналам связи, покрыта завесой секретности. Тем не менее в 1985 г. представители АНБ на время показали «на свет» из своей обширной штаб-квартиры в Форт-Миде, шт. Мэриленд, с тем, чтобы побудить компании США, включая IBM, AT&T и другие, производящие передовую технологию, приобрести оборудование, разработанное по заказу АНБ для зашифровывания данных. При этом АНБ настаивал на своей роли «хранителя ключей» для расшифровывания сообщений и запрещал использование его информационного оборудования для международных каналов связи.

Согласно Роберту Х. Кортни, бывшему специалисту фирмы IBM по обеспечению защиты данных, в настоящее время работающему консультантом, из-за таких ограничений даже те компании, которые заинтересованы в зашифровывании данных, например банки, были против предложения АНБ. Как отмечает Кортни, АНБ «безнадежно замкнут на себя», чтобы понять проблему промышленной безопасности, к которой скорее относится не иностранный шпионаж, а мошенничество и растрата. Вместе с тем, по словам Джона М. Ричардсона из Института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике, профессионального общества, помогающего устанавливать стандарты на каналы связи, многие компании обеспокоены тем, что если они откажутся подчиниться «указаниям» АНБ, то потеряют правительственные контракты.

В 1986 г. сотрудники министерства обороны, ЦРУ и ФБР начали посещать организации, управляющие базами данных. Базы данных, к которым подключены по телефонным каналам персональные компьютеры подписчиков, включали реферативный журнал «Chemical Abstracts» Американского химического общества и систему «Диалог» корпорации Lockheed. Представители вышеупомянутых правительственных учреждений интересовались списками подписчиков и пытались выяснить, как можно прекратить доступ к базам данных иностранных граждан.

В октябре 1986 г. Джон М. Поиндекстер, бывший в то время советником президента по вопросам национальной безопасности, вызвал еще большую озабоченность, опубликовав меморандум, где говорилось, какую информацию правительство считает «чувствительной» и, следовательно, подпадающей под инструкции. К такой информации Поиндекстер отнес любые данные, связанные с национальной обороной или международными отношениями, а также «экономическую, гуманитарную, сельскохозяйственную, техническую и административную информацию». Этот меморандум включал почти все, что можно придумать», — отметил Чарлз К. Уилк из Управления по оценке техники, под чьим руководством проводятся основные исследования по защите данных для конгресса.

Обеспокоенность по поводу этих действий была проявлена на слушаниях в конгрессе в начале прошлого года, на которых председательствовал член палаты представителей Джек Брукс, председатель комитета по правительственным операциям палаты представителей. По мнению членов

Американского союза борьбы за демократические свободы, Американской ассоциации содействия развитию науки, Американского физического общества и многих других организаций, контроль над информацией причиняет ущерб научно-исследовательской и коммерческой деятельности США.

Эти слушания, по словам одного наблюдателя, изменили ход событий не в пользу военной программы. Вскоре после их окончания Фрэнк К. Карлуччи, заменивший Поиндекстера на посту советника президента по вопросам национальной безопасности в период, когда разразился скандал «иран-контрас», отменил «меморандум Поиндекстера», вокруг которого все более разгорались споры. Представители Белого дома позже выразили поддержку законопроекта, впервые предложенного Бруксом, в соответствии с которым Национальное бюро стандартов, курируемое министерством торговли, становится ответственным за разработку инструкций для защиты гражданских информационных систем. После принятия палатой представителей и сенатом этого законопроекта, получившего название «Закон о защите компьютерных данных», он был подписан президентом 8 января этого года.

Тем не менее представители Пентагона, по словам помощника одного из сенаторов, «заключили сделку» с сенатом, которая может позволить АНБ принимать «участие в игре». Как заявил сенатор Лоутон М. Чайлз в бюллетене Congressional Record, «Закон о защите компьютерных данных» применим только к компьютерам и «ником образом не предусматривает изменений в предписаниях ответственностей в области защиты информации, передаваемой по каналам связи».

По словам помощника сенатора Чайлза, соглашение с АНБ было нацелено на то, чтобы дать возможность этой организации «спасти свое лицо», а не с тем, чтобы предоставить ей семантическую лазейку. Различные наблюдатели обеспокоены как заявлением Чайлза, так и двусмысленностью «Закона о защите компьютерных данных». Однако, как считает Роберт Л. Парк из Американского физического общества, закон будет иметь положительное значение, особенно в связи с недавним уходом в отставку двух высокопоставленных служащих Пентагона: Ричарда Н. Перла и Фреда К. Икле. «Эти люди проводили политику ограничений», — отмечает Парк.

Полнота и плодовитость

Уменьшение количества жировой ткани из-за недоедания или физической нагрузки может приводить у женщин к бесплодию.

Этот эффект обратим: плодовитость возвращается вместе с восстановлением массы жира. Возможно, жировая ткань оказывает регулирующее влияние на детородную функцию

РОЗА Э. ФРИШ

ЕЩЕ в каменном веке женская плодовитость ассоциировалась с полнотой, особенно с отложением жира в области молочных желез, бедер и ягодиц. Именно в этих участках женские половые гормоны эстрогены стимулируют запасание жира. По-видимому, традиционная связь между полнотой и плодовитостью имеет биологический смысл. Я предполагаю, что жировая ткань организма участвует в регуляции детородной функции.

За последние 15 лет получены весо-мые аргументы в пользу такого предположения. Показано, что для того чтобы у женщины могли возникнуть и установиться нормальные менструальные циклы — а следовательно, и способность к деторождению, — в ее организме должно накопиться некоторое «пороговое», минимальное, количество жира. И если в результате, скажем, строгой диеты или интенсивной физической нагрузки масса жира становится ниже пороговой, то наступление менархе (первой менструации) может задерживаться вплоть до 20 лет. Такое похудание может приводить также к тому, что при внешне нормальных месячных не происходит овуляции (выхода яйцеклетки из яичников в середине менструального цикла). Возможна и полная аменорея (прекращение менструаций). Следствием этого является бесплодие. Но оно обратимо: если количество жировой ткани восполняется (например, в результате уменьшения физической нагрузки), то детородная функция восстанавливается. Для нарушения менструального цикла вовсе не обязательна катастрофическая потеря веса, какая бывает при нервной анорексии — психически обусловленной утрате аппетита, при которой вес тела может уменьшаться в 1,5 раза. Вполне достаточно сравнительно умеренного похудания (а похудание — это прежде всего потеря жира) — на 10 — 15% от нормальной массы тела.

Недавно было обнаружено, что на-

рушения менструального цикла, связанные с чрезмерной худобой, обусловлены расстройствами деятельности гипоталамуса — области мозга, регулирующей размножение, потребление пищи и другие основные аспекты жизнедеятельности. Известно, что к гипоталамусу поступают сигналы от вышележащих отделов мозга. Значит, внешние факторы, например изменения температуры или стрессовые воздействия, могут влиять на процессы размножения через гипоталамус. Сейчас уже доказано, что к таким факторам относятся питание и физическая нагрузка.

Неудивительно, что, когда женщина чрезмерно худеет, у нее расстраивается гипоталамическая регуляция размножения. Такая реакция организма когда-то была, вероятно, выгодна в ситуации естественного отбора: зачатие происходило лишь у тех женщин, организм которых мог успешно справиться с беременностью. Ведь для размножения требуется энергия: для вынашивания жизнеспособного плода необходимо 50 тыс. — 80 тыс. ккал, а для вскармливания грудного ребенка молоком — 500 — 1000 ккал в день, что значительно больше, чем для других жизненных процессов. На заре развития человечества пища добывалась с трудом, количество ее сильно зависело от времени года, и грудное молоко было единственным источником питания новорожденного. Поэтому если женщина беременела, не имея достаточных запасов жира — основного быстро мобилизуемого энергетического ресурса организма, — то она ставила под угрозу как свою собственную жизнь, так и существование плода или новорожденного.

Можно предположить, что женщины, у которых овуляция происходила несмотря на малую упитанность, либо рожали недостаточно жизнеспособных детей, либо погибали сами. В любом случае они не оставляли потомства. Вероятно, в результате та-

кого естественного отбора у современных женщин по достижении зрелого возраста, как правило, более четверти массы тела (около 16 кг, что соответствует примерно 144 тыс. ккал) составляет жир. Возможно, главная роль этого жирового запаса заключается в том, чтобы обеспечить энергией беременность и вскармливание грудным молоком в течение примерно трех месяцев. У мужчин же в зрелом возрасте на долю жира приходится 12 — 14% массы тела. Надо сказать, что у женщин (а также самок животных) при чрезмерном ожирении тоже наблюдаются аменорея и бесплодие, однако механизмы этого явления неизвестны.

СВЯЗЬ между полнотой и плодовитостью была обнаружена косвенным путем едва ли не случайно. В начале 70-х годов мы с Р. Ревеллом, работавшим тогда в Гарвардском университете, собирали данные о калорийности питания, росте и весе в популяциях Латинской Америки и Азии с целью оценить потребности населения мира в продуктах питания. При анализе показателей развития я обратила внимание на то, что при недостаточном питании у девочек-подростков позже наступает период быстрого увеличения массы тела, который предшествует первой менструации. Напротив, при хорошем питании он начинается раньше. Сам по себе этот факт не был неожиданным, однако удивительным оказалось другое: во всех популяциях период быстрого увеличения массы тела у девочек независимо от времени его наступления начинался лишь после того, как сама масса достигала некоего среднего значения. Иными словами, создавалось впечатление, что решающим фактором в данном случае служит масса тела.

Для того чтобы проверить наше предположение о связи массы тела с наступлением первой менструации, мы проанализировали данные о весе и росте девочек, полученные в трех со-

поставимых обследований, проведенных в США. Для 181 девочки было прослежено развитие от рождения до 18 лет (т. е. до завершения созревания). Оказалось, что независимо от того, рано или поздно начиналось половое созревание, средняя масса тела в момент наступления первой менструации была одинаковой — 47 кг. Средний рост при этом был существенно больше у тех девочек, половое созревание у которых началось поздно.

То, что масса тела, возможно, имеет значение для наступления менархе, помогло объяснить многие загадочные наблюдения. Так, на протяжении последних 100 лет в США и Европе менархе наступает во все более и более раннем возрасте. Сегодня у американских девочек первая менструация происходит в среднем в 12,6 лет, тогда как 100 лет назад — в 15,5 лет. Ревелл и я предположили, что более раннее менархе обусловлено тем, что дети «быстрее растут», так как лучше питаются и меньше болеют. Связь между средней массой тела к моменту менархе и средним возрастом начала менструаций в популяции позволяла также объяснить и другие факты: почему при плохом питании месячные начинаются позже, почему задерживается менархе у близнецов по сравнению с «одиночками» той же популяции (близнецы во время внутриутробного развития и в период новорожденности растут медленнее и потому позже достигают «пороговой» массы), почему у жительниц высокогорных районов менструации начинаются позже (в высокогорье развитие происходит медленнее).

ХОТЯ мы установили, что к моменту наступления менархе девочки имеют определенную среднюю массу, это не позволяло предсказывать, когда начнутся менструации у той или иной конкретной девочки, так как индивидуальная масса на момент менархе значительно варьирует. Я задалась вопросом, не существует ли какого-либо показателя, связанного с массой тела, с помощью которого можно было бы строить подобные прогнозы. Ключом к ответу послужили результаты изящных экспериментов на животных, проведенных ныне покойным Г. Кеннеди из Кембриджского университета. Этот исследователь обнаружил, что половое созревание у самок крыс более тесно связано с массой тела, чем с возрастом. Кроме того, оказалось, что крысы, получавшие различные рационы, влияющие на скорость роста, ко времени первой течки (аналог менструации у животных) потребляли в итоге одина-



СИМВОЛ ПЛОДородия в каменном веке — «Венера Виллендорфская» — служит утрированной иллюстрацией того недавно установленного факта, что для нормального выполнения детородной функции в организме женщины должно быть запасено достаточно жира. Добиться, чтобы количество жира достигло «порогового» значения, можно путем увеличения веса: у взрослых людей, не занимающихся интенсивно спортом, прирост массы тела происходит за счет отложения жира. Эта статуэтка была найдена в Австрии; ее высота около 10 см.

ковое количество пищи на единицу массы тела. Кеннеди предположил, что количеством жира в организме регулируется как потребление пищи, так и наступление половой зрелости.

На основании данных Кеннеди и его сотрудников Э. Уиддоусон и П. Макканса, а также результатов исследований по составу тела человека, проведенных Ф. Муром с коллегами в Медицинской школе Гарвардского университета, у меня начало складываться

впечатление, что какие-то показатели состава тела — в частности, количество жировой ткани — могут влиять на наступление менархе. В связи с этим мы с коллегами изучили изменения состава тела у девочек в момент менархе и в предшествующий ему период быстрого увеличения массы тела. Особенно нас интересовало количество жира и так называемая безжировая масса тела; в сумме эти две величины составляют массу тела.

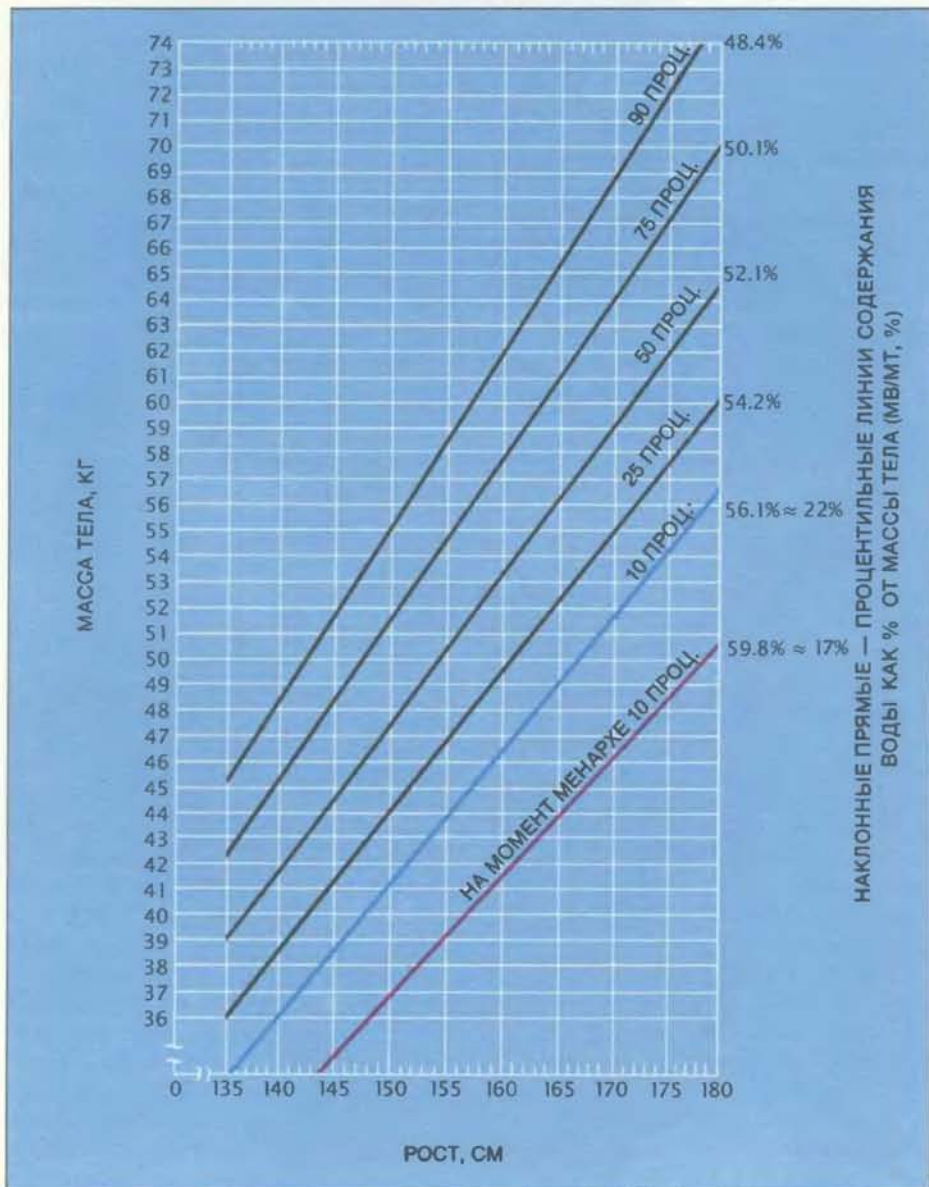
Под безжировой массой тела понимают общую массу таких структур, как мышцы, кожа (без подкожно-жировой клетчатки), внутренности (сердце, почки, прочие органы) и скелет.

Те 181 девочки, о которых говорилось выше, давно повзрослели, однако у нас сохранились данные об их весе и росте во время менархе и предшествующего периода быстрого увеличения массы тела. По этим данным мы рассчитали состав тела при помощи стандартных уравнений для оценки общего количества воды в организме — по такому показателю можно судить об относительном вкладе жира и безжировой массы в общую массу тела человека. Уравнения для расчета количества воды в организме были получены с помощью прямых измерений содержания воды у здоровых девочек и женщин.

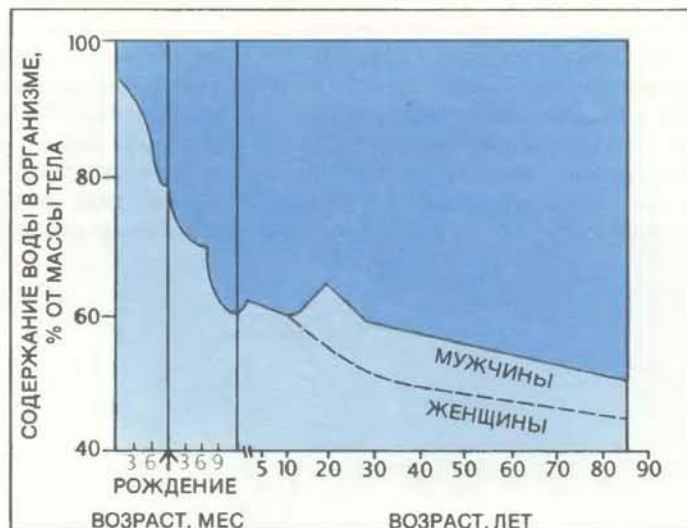
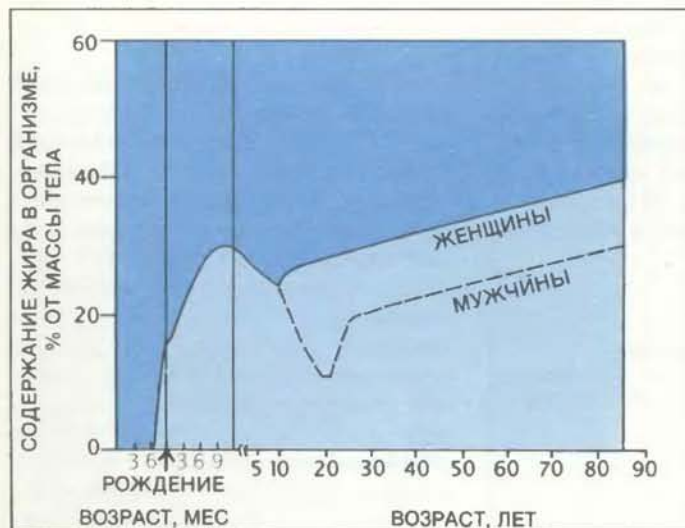
Правомерен вопрос: как можно судить о составе тела по содержанию в нем воды? Дело в том, что у человека, вышедшего из детского возраста, на долю воды приходится 72% безжировой массы тела. Значит, рассчитав общее количество воды в организме, можно вычислить безжировую массу тела, разделив полученную величину на 0,72. Если же вычесть безжировую массу тела из общей массы, то получится масса жира. Таким образом, содержание воды в организме может служить показателем количества жира: в жировой ткани воды мало (5 — 10%), и потому чем этой ткани больше, тем меньше будет общее содержание воды.

Мы обнаружили, что самое существенное изменение состава тела в период быстрого увеличения массы тела перед менархе — это значительное возрастание количества жира. В среднем у девочек как при раннем, так и при позднем половом созревании количество жира увеличивается на 120% (от 5 до 11 кг), тогда как безжировая масса тела прибавляется лишь на 44%. Иными словами, если в начале этого периода соотношение между безжировой массой тела и количеством жира составляет 5:1, то ко времени менархе оно равно уже 3:1. И хотя у разных девочек вес к моменту менархе оказывался различным, соотношение между безжировой массой тела и количеством жира, а также относительное содержание воды в организме у них было одинаковым; в среднем на долю воды приходилось 55% массы тела, а это означает, что содержание жира составляло 24%.

ВСЕ ЭТИ данные достаточно убедительно свидетельствовали: для того чтобы у девочки начались менструации, соотношение между безжи-



НОМОГРАММА, применяемая во врачебной практике, показывает, какой должна быть у женщины при данном росте «пороговая» (минимальная) масса тела, для того чтобы у нее нормально протекали менструальные циклы. «Дополнительная» масса (свыше пороговой) у каждого индивида своя, и рассчитать ее заранее нельзя. Красная линия отмечает пороговую массу для менархе (первой менструации); голубая линия — минимальную массу для восстановления прекратившихся менструаций у зрелых женщин. Например, чтобы у женщины ростом 165 см, страдающей аменореей, восстановились менструации, она должна увеличить свой вес по меньшей мере до 49 кг. Верхние пять линий — процентильные прямые содержания воды, выраженного в процентах от массы тела (эта величина служит показателем содержания жира) для зрелых здоровых женщин. Голубая линия соответствует 10-процентильной прямой. Красная линия соответствует 10-процентильной прямой для здоровых девочек на момент менархе. 50-процентильная прямая показывает должную (для данного роста) массу тела для зрелых женщин в возрасте от 18 до 25 лет.



ДОЛЯ ЖИРА в общей массе тела начинает увеличиваться у женщин после 10 лет, а у мужчин — значительно позже (слева). Этому соответствует снижение содержания воды (справа). Жировая ткань содержит очень мало воды по сравнению с мышечной и другими тканями, и поэтому доля воды может служить показателем содержания жира в ор-

ганизме. К 18 годам на долю жира у женщин обычно приходится около 28% массы тела, а у мужчин — около 13%. Предполагается, что большие жировые запасы у женщин необходимы для беременности и вскармливания. Графики построены по данным Б. Фриш-Хансена из Копенгагенского университета.

ровой массой тела и жиром (отражающее полноту, т. е. содержание жира в организме) должно достигать порогового уровня. Однако средняя величина этого соотношения для популяции в целом еще не позволяет предсказывать «критическое» значение для наступления менархе в каждом конкретном случае. Мы с Дж. Макартур из Массачусетской больницы общего типа попробовали подойти к решению этой проблемы путем сравнения роста, веса и вычисленного состава тела у молодых девушек и женщин с расстройствами менструального цикла и у здоровых индивидов, обследованных нами, во время менархе и в 18 лет.

Для того чтобы сравнить эти две группы, мы пользовались номограммами, показывающими значения массы тела и роста, соответствующие относительному содержанию жира у обследованных нами 181 нормальной девочки во время менархе и по завершению полового развития (см. рисунок на с. 58). Относительное содержание жира отображалось процентильными линиями «индекса содержания жира» — процентного отношения общего количества воды в организме к массе тела, которым мы пользовались как показателем полноты.

В результате получилась несколько неожиданная картина. Оказалось, что в случаях аменореи или позднего наступления менархе относительное содержание жира было ниже порогового. Так, выяснилось, что у девочек, достигших (или почти достигших) окончательного для себя роста, менструации не начинались до тех пор, пока они не набирали соответ-

ствующую росту массу тела, чтобы процентное содержание воды в организме снизилось до 59,8%. При таком содержании воды на долю жира приходится по меньшей мере 17% массы тела (чем ниже содержание воды, тем выше — жира). Значения порогового процентного содержания воды отвечали 10-процентильной линии для нормальных девочек на момент менархе, т. е. в обследованной выборке у 90% индивидов во время менархе содержание воды было меньше, а жира соответственно больше. Таким образом, можно было предсказать, что 15-летняя девочка, достигнув своего окончательного роста 165 см, должна весить не меньше 44 кг для того, чтобы у нее начались месячные.

Выяснилось также, что если у женщины из-за похудения прекратились менструации, то для восстановления и поддержания нормальных овуляторных циклов она должна набрать вес примерно на 10% больше, чем «пороговое» значение для наступления менархе. Иными словами, процентное содержание воды в организме должно быть не более 56,1%, что соответствует содержанию жира около 22% от массы тела. Такое значение отвечало 10-процентильной линии содержания воды у нормальных 18-летних девушек по завершении созревания. Начиная с этого возраста женщина ростом 165 см должна весить не менее 49 кг для того, чтобы у нее происходили регулярные менструации и овуляции. И если вес тела падает ниже этого порогового уровня, то месячные циклы могут прекращаться.

Казался удивительным тот факт, что у зрелых женщин для регулярных

овуляторных циклов масса тела и содержание жира должны быть выше, чем для наступления менархе. Почему, собственно, женщине в 18 лет для нормальных менструаций требуется больше жировой ткани, чем необходимо для первых месячных? Ответ на этот вопрос мы получили, проанализировав данные о здоровых обследованных: выяснилось, что в норме за период от первой менструации до 18 лет количество жира у женщины увеличивается. К 18 годам обычно заканчивается стадия подросткового становления репродуктивной функции. (На этой стадии яичники, матка и маточные трубы продолжают расти, а многие менструальные циклы происходят без овуляции.) Оказалось, что, как при раннем, так и при позднем половом созревании за время от менархе до 18 лет прибавляется в среднем 4 — 5 кг жира и к 18 годам у здоровых девушек масса жира составляет 28% общей массы тела. Сначала представлялось невероятным, что в организме женщины, готовой к деторождению, запасается так много жира, однако имеющиеся в литературе данные, основанные на результатах посмертных вскрытий, подтвердили наши результаты.

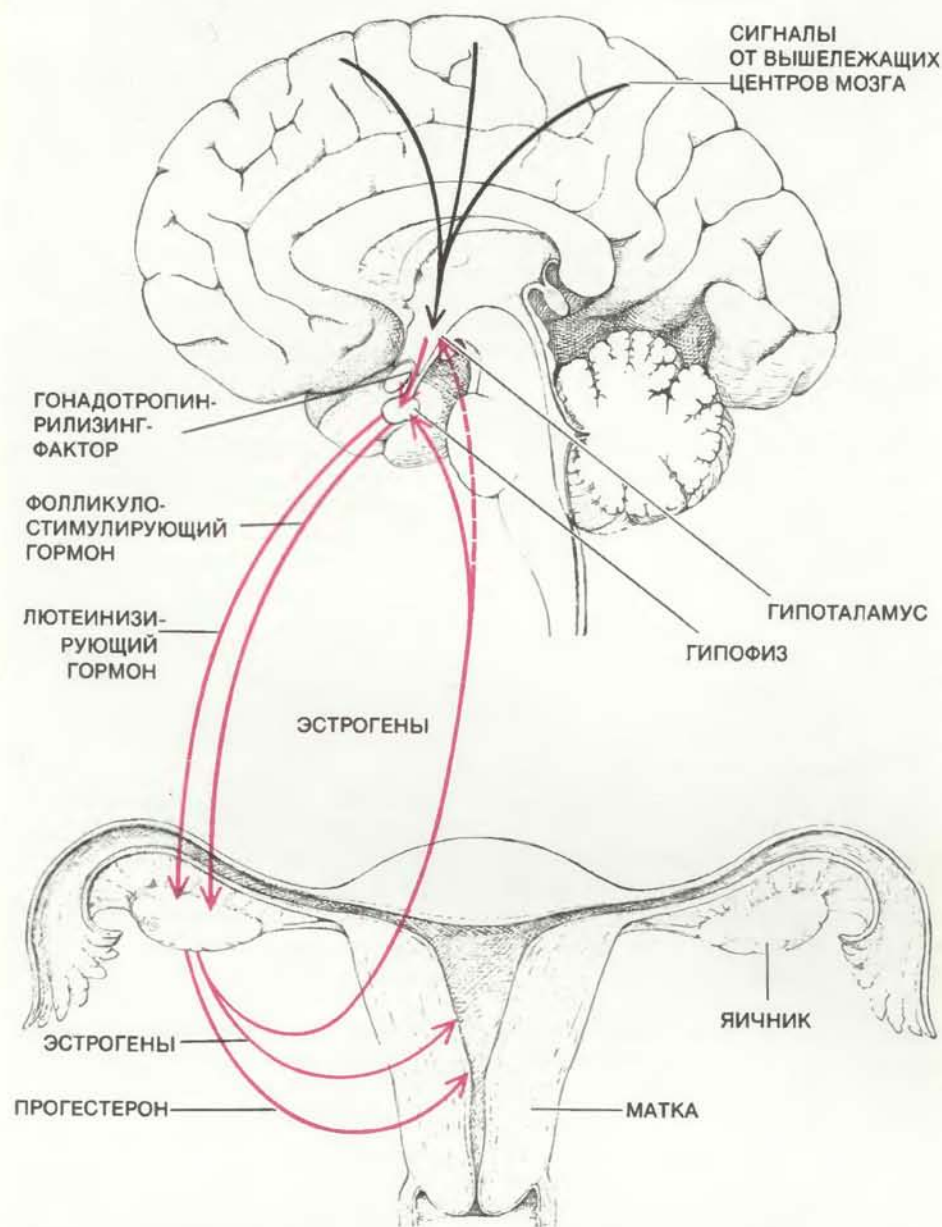
В настоящее время многие врачи, руководствуясь номограммами, чрезмерно худым женщинам с аменореей или с менструациями без овуляций рекомендуют прибавить в весе (разумеется, сначала следует убедиться, что нет другой патологии). Часто бывает достаточно «поправиться» всего на 1,5 — 2 кг сверх порогового для данного роста веса, чтобы восстановились менструальные циклы. Однако

пока невозможно точно предсказывать, насколько в каждом конкретном случае масса тела должна превосходить пороговую. Даже при весе, близком к необходимому минимуму, могут отсутствовать овуляции, хотя менструации происходят (это нарушение можно обнаружить путем ультразвукового исследования яичников

или измерения уровней гормонов). В такой ситуации для восстановления регулярных овуляторных циклов нужно еще увеличить вес — до значения, соответствующего 25-процентильной линии содержания воды. «Диапазон» пороговой массы удивительно узок: многие обследованные нами спортсменки могли произволь-

но вызывать или прекращать менструальные циклы, изменяя свой вес всего на 1,5 кг.

Здесь следует сделать несколько оговорок. Во-первых, на возникновение и регулярность менструаций влияет не только масса тела, но и другие факторы, например эмоциональный стресс. В связи с этим если месячные прекратились в результате похудения, то они могут и не возобновиться даже в том случае, когда масса тела достигнет порогового для данного роста значения. Существенно также, что после восстановления должного веса до возобновления регулярных нормальных месячных проходит какое-то время, которое зависит от того, как долго не было менструаций. Во-вторых, составленные нами номограммы касаются только американских и европейских женщин. Кроме того, они не подходят для женщин с очень сильно развитой мускулатурой: в мышцах содержится много воды (80%), которая имеет сравнительно большой удельный вес, поэтому, даже если мускулистая женщина обладает нормальным по номограмме для своего роста весом, доля жира у нее недостаточна по отношению к безжировой массе тела.

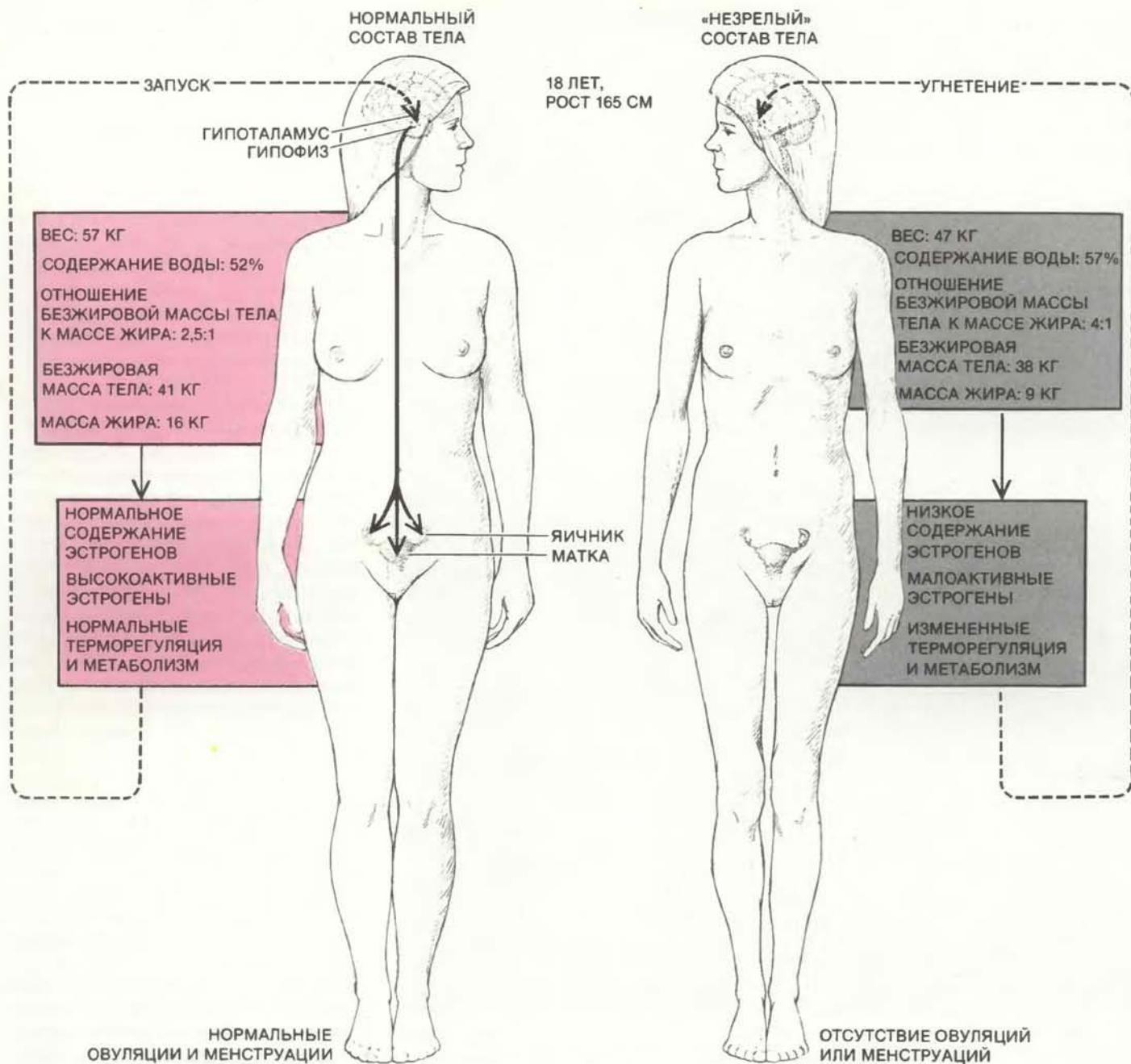


СЕКРЕЦИЯ ГОРМОНОВ (красные стрелки), отвечающих за овуляцию и регулярные менструальные циклы, управляется гипоталамусом. Из гипоталамуса порциями выбрасывается в кровь гонадотропин-рилизинг-фактор, и под его влиянием из гипофиза выделяется фолликулостимулирующий гормон, определяющий рост фолликулов (образованных особыми клетками пузырьков, в которых созревают яйцеклетки) в яичниках, и лютеинизирующий гормон, отвечающий за овуляцию (выход яйцеклетки из яичника в середине менструального цикла). В первой половине менструального цикла растущий фолликул вырабатывает эстрогены. Под влиянием этих гормонов изменяется активность гипофиза и, возможно, гипоталамуса (пунктирная стрелка); кроме того, он стимулирует рост молочных желез и эндометрия (слизистой оболочки матки). После выхода яйцеклетки фолликулы превращаются в желтые тела, которые вырабатывают прогестерон; этот гормон стимулирует рост сосудистой сети в эндометрии. Если оплодотворение не происходит, содержание эстрогенов и прогестерона падает и внутренний слой эндометрия отторгается: наступает менструация. На гипоталамус влияют вышележащие отделы головного мозга (черные стрелки).

КАКИМ ЖЕ образом количество жировой ткани может влиять на плодотворность? Измерения содержания одного из гормонов гипоталамуса — так называемого гонадотропин-рилизинг-фактора (ГРФ) — выявили ключевую роль этого центра в регуляции детородной функции. ГРФ, который выбрасывается в кровь порциями, управляет всей последовательностью событий, ведущей к овуляции. У чрезмерно худых женщин аномальны как количественные, так и временные характеристики секреции ГРФ; они по существу такие же, как у девочек до периода полового созревания. В результате нарушается весь каскад гормональных процессов, в норме приводящий к овуляции и подготавливающий матку к беременности.

В зрелом женском организме выброс порции ГРФ вызывает выделение из гипофиза двух других гормонов — фолликулостимулирующего гормона, регулирующего в яичниках рост фолликулов (образованных особыми клетками пузырьков, в которых созревают яйцеклетки), и лютеинизирующего гормона, управляющего циклом выхода яйцеклеток из фолликулов. При низком уровне этих гормонов овуляция наступить не может.

Для овуляции и менструации необходимы также эстрогены и прогестерон, образующиеся в яичниках. Содержание этих гормонов тоже падает



ЖЕНЩИНА нормального веса (слева), потеряв около 15% массы тела (справа), не обязательно будет выглядеть ужасно худой, однако менструации у нее могут прекратиться. Такая потеря веса, происходящая преимущественно за счет уменьшения количества жира, сказывается на деятельности гипоталамуса, и поэтому нарушается менстру-

альный цикл. Механизм реакции гипоталамуса на потерю жира неизвестен. По мнению автора статьи, причиной нарушения гипоталамического контроля детородной функции являются снижение общего содержания и активности циркулирующих в крови эстрогенов, а также изменения в терморегуляции и метаболизме.

при снижении уровня ГРФ вследствие того, что при этом уменьшается выработка фолликулостимулирующего и лютеинизирующего гормонов. В норме растущий фолликул выделяет эстрогены и они влияют на эндокринную функцию гипофиза таким образом, что в середине менструального цикла происходит выброс лютеинизирующего гормона и в результате наступает овуляция. Кроме того, эстрогены стимулируют рост молочных желез и эндометрия (слизистой оболочки матки). После овуляции фолли-

кул превращается в так называемое желтое тело и начинает вырабатывать прогестерон; этот гормон способствует развитию сети кровеносных сосудов в эндометрии и тем самым готовит его к имплантации — внедрению оплодотворенной яйцеклетки. Если имплантация не происходит, то уровни прогестерона и эстрогенов падают и наступает менструация.

Пока не известно, какие именно сигналы, поступающие в гипоталамус при уменьшении массы тела, приво-

дят к нарушению менструального цикла. Возможно, эту роль играют сигналы об изменениях терморегуляции или метаболизма, происходящих при уменьшении количества жира — будь то из-за недостаточного питания или из-за высоких энергозатрат. Возможно также, что гипоталамус реагирует на изменения уровней эстрогенов, обусловленные снижением содержания жира.

Как же количество жира влияет на содержание эстрогенов? Когда-то считалось, что жировая ткань в био-

логическом отношении инертна и служит лишь для теплоизоляции и механической защиты тела. Однако сегодня ясно, что эта ткань принимает весьма активное участие в энергетическом обмене. Кроме того, в ней накапливаются стероиды (в том числе половые гормоны), и поэтому она может влиять на количество и активность циркулирующих в крови эстрогенов.

Связь между количеством жировой ткани и содержанием эстрогенов была выявлена в ряде исследований. Так, П. Сиитери из Медицинской школы Калифорнийского университета в Сан-Франциско и П. Макдональд из Научно-исследовательского центра Иды Грин биологии размножения в Далласе обнаружили, что в жировой ткани андрогены (мужские половые гормоны) превращаются в эстрогены. Именно таким путем образуется примерно треть всех циркулирующих в крови эстрогенов у женщин в климактерический период, и большая часть эстрогенов — после климакса (интересно, что у мужчин в жировой клетчатке также происходит превращение андрогенов в эстрогены). Этот процесс происходит в жировой ткани в области молочных желез, брюшной стенки, сальника (особенного образования брюшины, содержащего жир) и, по нашим данным, костного мозга длинных костей.

Дж. Фишман, Л. Бредлоу и их коллеги из Рокфеллеровского университета показали, что от содержания жира в организме зависит, будут ли андрогены превращаться в активную или неактивную форму эстрогенов. Так, у худых девушек, страдающих анорексией, повышено содержание относительно малоактивных форм эстрогенов, тогда как у более полных женщин этих форм меньше и существенно выше уровень высокоактивных форм. По данным Сиитери и его сотрудников, у полных женщин сравнительно низок уровень белка, известного под названием «глобулин, связывающий половые гормоны» (в том числе он связывает эстрогены). Если уровень этого белка низок, то концентрация свободных эстрогенов в крови велика. Чем меньше у девочек масса тела к моменту менархе, тем больше в крови глобулина, связывающего половые гормоны, и соответственно меньше свободных эстрогенов.

В нескольких последних работах, и в том числе в наших исследованиях, обнаружено, что у женщин причиной аномального функционирования гипоталамуса и нарушений менструального цикла может быть не только чрезмерная потеря веса в результате недоедания. К задержке менархе, нерегулярным менструальным циклам

и аменорее могут приводить интенсивные занятия любыми видами физической деятельности — плаванием, бегом, хореографией и т. д. Значит, физическая нагрузка сама по себе чревата подобными нарушениями; возможно, это обусловлено увеличением массы мышечной ткани и уменьшением жировой, т. е. повышением отношения безжировой массы тела к массе жира.

Обследования, проведенные нами среди школьниц и студенток показали, что интенсивная физическая нагрузка действительно может играть такую роль. Как выяснилось, у девочек, начавших занятия плаванием и бегом в возрасте еще до полового созревания, менархе наступает в среднем в 15 лет. У тех же, кто стал заниматься спортом в более позднем возрасте, первая менструация происходит в среднем в 12,7 лет — т. е. так же, как в контрольной группе «не-спортсменок» и среди населения в целом. По нашим данным, каждый год спортивных тренировок в возрасте до менархе сдвигает срок первой менструации на 5 месяцев.

Мы обнаружили также, что интенсивная тренировка до менархе коррелирует с высокой частотой нарушений менструального цикла. Среди обследованных нами девушек-спортсменок, начавших тренироваться до менархе, лишь у 17% месячные были регулярными, у 61% менструальные циклы были неправильными, а у 22% не было менструаций вообще. Когда же занятия спортом начинались после менархе, в 60% случаев устанавливались регулярные циклы, в 40% — нерегулярные, а аменореи не зарегистрировано. Во время интенсивных тренировок нарушения менструального цикла и аменорея наблюдались чаще в обеих группах, коррелируя с уменьшением массы тела и содержания жира.

Измерения содержания гормонов подтвердили, что в нарушениях менструаций у спортсменок играет роль потеря жира. У худых спортсменок с нарушениями менструального цикла или поздним менархе уровни эстрогенов и лютеинизирующего гормона оказались низкими. В тех случаях, когда тренировки из-за травм прекращались, содержание гормонов возвращалось к нормальному уровню и восстанавливались нормальные менструальные циклы. Недавно другими исследователями было обнаружено, что у спортсменок высокого класса с нерегулярными менструальными циклами или аменореей нарушена функция гипоталамуса: уровень гонадотропин-рилизинг-фактора в крови у них такой же низкий, как и у чрезмерно худых женщин. Это согласуется с предположением, что причи-

ной нарушений менструального цикла являются потеря жира и увеличение мышечной массы.

Мы наблюдали также женщину-культуристку, которая не занималась ни бегом, ни танцами, а только наращивала мышечную массу путем упражнений на специальных снарядах. Оказалось, что когда она достигала хорошей для соревнований формы, месячные у нее прекращались. Уровни эстрогенов, фолликулостимулирующего и лютеинизирующего гормонов в крови у нее оказались такими же низкими, как и у женщин, худых вследствие недостаточного питания, или у спортсменов.

Новые данные, полученные при обследовании женщин, занимавшихся в юные годы спортом, с несколько иной стороны подтвердили важность количества жировой ткани для функционирования репродуктивной системы. Наша исследовательская группа изучала 5398 женщин, окончивших колледжи Бостона, в возрасте от 20 до 80 лет. Половина из них в прошлом занималась спортом, а другая половина — нет. Выяснилось, что у бывших спортсменок значительно реже встречается рак молочных желез и половых органов, чем у женщин, не занимавшихся спортом (такие факторы, как возраст, семейная предрасположенность к раковым заболеваниям, курение, учитывались). Вероятнее всего, этот факт объясняется тем, что у бывших спортсменок (а в каждой возрастной группе у спортсменок масса тела меньше, чем у женщин, не занимавшихся спортом) ниже уровень эстрогенов и выше относительное содержание малоактивных форм этих гормонов. По-видимому, те же факторы, которые в случае чрезмерной выраженности приводят к бесплодию у женщин при излишней худобе или интенсивной физической нагрузке, оказывают защитное действие против злокачественных опухолей, чувствительных к половым гормонам.

ДЛЯ ТОГО чтобы получить прямые данные о связи между составом тела и плодовитостью, необходимы исследования на животных, так как их можно вскрывать и прямо определять безжировую массу тела и содержание жира. Все существующие на сегодняшний день методы измерения количества жира у человека, включая взвешивание под водой, являются непрямыми. Д. Хегстед, К. Йосинага, которые работали в Гарвардском университете, и я установили, что у крыс при высоком содержании жира в пище первая течка наступает значительно раньше, чем при равноценном по калорийности питанию с меньшей долей жира. Прямой

анализ состава тканей умертвленных животных показал, что на момент первой течки в обеих группах было одинаковое процентное содержание воды и, следовательно, одинаковое соотношение между безжировой массой тела и массой жира (хотя абсолютные значения массы тела различались).

Сведения о других животных дают более косвенную, но не менее ценную информацию. Например, коров «сверхмускулистой» породы шароле, которая ценится за исключительно постное мясо, разводить, к сожалению, довольно трудно, так как у них поздно наступает половая зрелость и они плохо размножаются. Кстати, быки этой породы тоже сравнительно малоплодовиты.

О влиянии питания на плодовитость говорит и такое своеобразное явление: если овец в течение короткого времени (около недели) перед случкой усиленно кормить, то частота многоплодия значительно увеличивается. В овцеводстве это явление используют для увеличения помета. Оно настолько ярко выражено, что число ягнят в помете у здоровой овцы можно рассчитать по калорийности ее питания.

К счастью, у женщин высококалорийная пища не вызывает (по крайней мере, насколько нам известно) суперовуляции. Тем не менее есть некоторые указания на стимулирующее влияние питания перед оплодотворением у человека. Во время второй мировой войны, когда снабжение продовольствием ухудшилось, частота рождения разнояйцевых близнецов в Голландии уменьшилась, тогда как частота рождения однояйцевых близнецов не изменилась. После того как питание населения снова улучшилось, частота рождения разнояйцевых близнецов стала прежней.

ДАННЫЕ, полученные в исследованиях животных и человека, позволяют высказать гипотезу о том, почему плодовитость человеческих популяций варьирует, изменяясь как во времени, так и в зависимости от географической принадлежности. Общее число живых детей, родившихся в семьях, не пользующихся мерами предохранения от беременности, колеблется от 4 (у кочевых бушменов, обитающих в пустыне Калахари в Африке, где суровые условия) до 11 (у хаттеритов — богатой религиозной секты в США, члены которой хорошо питаются и отрицают предохранение от беременности). Я объясняю эти различия прямым влиянием питания на плодовитость.

Надо сказать, что моя идея не вполне нова. Еще Чарлз Дарвин высказал



КУЛЬТУРИСТКИ характеризуются гораздо меньшим содержанием жира и имеют гораздо более развитую мускулатуру, чем обычные женщины такого же веса. У этой молодой женщины менструации обычно прекращаются, когда она находится в хорошей форме для соревнований (как на этой фотографии). Измерения уровней гормонов показали, что содержание эстрогенов, фолликулостимулирующего и лютеинизирующего гормонов у нее при этом низкое, как и следовало ожидать, исходя из низкого отношения количества жира к безжировой массе тела. У женщин, интенсивно занимающихся другими видами спорта, мускулатура не так развита, как у культуристок, однако у них тоже бывает аменорея из-за прироста количества мышечной ткани и уменьшения доли жира.

эту в общем тривиальную мысль на основании ряда наблюдений: домашние животные, питающиеся регулярно и обильно, более плодовиты, чем их дикие собратья; тяжелые условия существования приводят к задержке периода способности к зачатию; у одного и того же животного плодовитость изменяется в зависимости от количества пищи; добиться увеличения количества жира у кормящей коровы бывает трудно. Я показала, что положения, высказанные Дарвином, справедливы и для человека и что на протяжении жизни женщины харак-

тер питания может влиять на ее плодовитость.

Например, данные о развитии и деторождении у английских женщин середины прошлого века говорят о том, что плохо питавшиеся женщины, сравнительно поздно достигавшие половой зрелости (в результате чего у них было низкое отношение количества жира к безжировой массе тела), по всем характеристикам детородного периода отличались от женщин, получавших достаточное питание. Первая менструация у них наступала позже, период подросткового становле-

ния половой функции длился дольше, возраст максимальной плодовитости был большим, живых детей рождалось в каждой возрастной группе меньше, а число беременностей, заканчивавшихся выкидышем или мертворождением, было выше. Кроме того, период аменореи во время кормления грудью длился дольше (а потому был продолжительнее и интервал между родами) и менопауза (возраст, в котором прекращаются менструации) наступала раньше. В Великобритании в XIX в., как и во многих других странах в прошлом, в бедных семьях, несмотря на то что супружеские отношения поддерживались вплоть до конца детородного периода, рождалось лишь 6-7 живых детей.

В настоящее время в большинстве бедных семей развивающихся стран обычно бывает примерно столько же детей. Может показаться, что 6-7 человек — довольно большое потомство, однако на самом деле это число значительно ниже средней нормальной плодовитости человека. Низкая способность женщин к деторождению может быть обусловлена плохим питанием и тяжелой физической работой. Однако, если у женщин, недостаточно питающихся, плодовитость понижена по сравнению с теми, кто получает нормальный рацион и не предохраняется от беременности, то почему же в развивающихся странах сегодня так быстро растет население? Это противоречие, возможно, объясняется тем, что благодаря мерам здравоохранения в этих странах снизилась смертность, а рождаемость осталось прежней.

Женщины — независимо от того, живут ли они в развивающихся или в развитых странах, — должны иметь в виду, что возможно забеременеть даже в период кормления ребенка грудью. В развивающихся странах у кормящих женщин, получающих недостаточное питание, овуляции и менструации возобновляются не ранее чем через год после родов. Однако при хорошем питании овуляционные циклы могут возобновиться уже через 3 месяца после родов, даже если кормление грудью продолжается. Слишком короткий интервал между родами опасен, поскольку беременность требует от женщины больших энергетических затрат, и потому следующий ребенок может при рождении иметь недостаточный вес, а это сказывается на его жизнеспособности и ведет к неврологическим и другим осложнениям. Кроме того, гормональные сдвиги, сопутствующие беременности, уменьшают количество вырабатываемого молока. В развиваю-

щихся странах это в особенности чревато опасностью для жизни грудного ребенка: важно, чтобы мать кормила ребенка своим молоком как можно дольше, так как рацион, на который он переходит после отнятия от груди, часто беден белками.

Некоторые специалисты считают, что длительность «лактационной аменореи» зависит от режима кормления ребенка*. Однако исследования, проведенные в Африке П. Лунном и Р. Уайтхедом из Кембриджского университета, показали, что на срок восстановления регулярных менструально-овуляционных циклов явно влияют характер питания и физическая нагрузка.

В ЭТОЙ СТАТЬЕ речь шла только о женщинах, однако недостаточное питание и потеря веса могут влиять на плодовитость и у мужчин. В классическом исследовании, проведенном А. Кейсом, Дж. Брозекком и их коллегами в Университете шт. Миннесота, было обнаружено, что у мужчин снижение калорийности рациона и происходящая вследствие этого потеря веса прежде всего приводят к уменьшению полового влечения. Дальнейшая потеря веса влечет за собой снижение количества жидкости предстательной железы и уменьшение подвижности и жизнеспособ-

* См. статью: Р. Шорт. Грудное вскармливание, «В мире науки», 1984, № 8. — *Прим. ред.*

ности сперматозоидов. Когда масса тела становится на 25% меньше нормальной для данного роста, выработка спермы угнетается. Восполнение веса приводит, в обратном порядке, к восстановлению половой функции.

Недавно при исследовании мужчин, занимающихся марафонским бегом, и других спортсменов высокого класса, отличающихся большой худобой, было обнаружено, что у них так же, как и у спортсменок-женщин, нарушена деятельность гипоталамуса. Во многих случаях гипоталамус либо вырабатывал недостаточно гонадотропин-рилизинг-фактора, либо его секреция происходила ненормально, вследствие чего уровень тестостерона (мужского полового гормона) был пониженным. Пока не известно, ослаблена ли у таких мужчин плодовитость или нет.

Вопрос о связи между количеством жира и плодовитостью у мужчин еще мало исследован. Напротив, «преходящее бесплодие» у чрезмерно худых женщин было известно еще в прошлом веке. В 1884 г., когда часты были случаи аменореи из-за плохого питания, врач Дж. Дункан рекомендовал Королевскому обществу врачей лечить таких бесплодных женщин хорошей пищей, например ростбифом и французским вином. По его словам, «даже если очень худая женщина и могла бы забеременеть, то вероятность родить живого ребенка или выжить самой во время родов была бы чрезвычайно мала».

Наука и общество

Солнечные батареи на меху

В ЯСНЫЙ день при температуре 0°C даже самая лучшая солнечная батарея превращает падающую на нее радиацию в тепло с эффектив-

ностью всего 40%. Однако существует естественный коллектор солнечного излучения с КПД свыше 95%. Это замечательное «устройство» — белый медведь.

То, что шерсть белого медведя об-



КОНЧИК
ШЕРСТИНКИ

ШЕРСТИНКА у белого медведя представляет собой как бы природный волоконнооптический кабель. На поперечном срезе шерстинки (справа) видна ее плотная оболочка и сетчатая сердцевина. Ультрафиолетовое излучение, падающее на шерстинку, не может выйти из слоя между ее поверхностью и сердцевинной и достигает кожи.



ладает свойством «улавливать» солнечное тепло, выяснилось неожиданным образом примерно семь лет назад, когда канадское правительство организовало исследования по определению численности гренландских тюленей в Арктике. Этим животным с их белой шерстью трудно различить на заснеженных равнинах, поэтому ученые решили использовать инфракрасную аэрофотосъемку в надежде, что фотокамеры обнаружат животных по их тепловому излучению. Однако эта попытка провалилась: оказалось, что превосходная тепловая изоляция мехового покрова тюленей практически не позволяет теплу уходить в окружающее пространство.

Решение проблемы дала ультрафиолетовая фотография. Дело в том, что снежная поверхность отражает ультрафиолетовые лучи, а шерсть тюленей поглощает их. Дальнейшие исследования показали, что ультрафиолет поглощается и шерстью других арктических животных, причем наиболее совершенными в этом смысле были признаны белые медведи.

Эти результаты навели Р. Гроуджина, сотрудника Северо-восточного университета и Подразделения исследований и разработок армии США в Нейтике, на мысль, что детальное изучение шерсти белого медведя может дать новые идеи для более эффективного использования солнечной энергии. Гроуджин обнаружил, что у белого медведя отдельные шерстинки на самом деле вовсе не белого цвета, а бесцветные. Под микроскопом видно, что такая шерстинка напоминает кварцевую нить. Ее сердцевина рассеивает падающий свет, поэтому шерсть кажется белой. (Подобное рассеяние объясняет, например, белый цвет снежинок.) Гроуджин считает, что шерстинка каким-то образом проводит рассеянную радиацию к коже животного (которая в действительности является черной), где она поглощается и превращается в тепло. Это пассивно усваиваемое тепло добавляется к тому теплу, которое вырабатывается самим организмом.

Уже видны и практические следствия этой гипотезы. Согласно результатам работ Г. Ковальски, работающего с Гроуджином в Северо-восточном университете, размещение на плоской поверхности солнечной батареи волосоподобных нитей может дать 50%-ную прибавку к ее эффективности. Если бы солнечные батареи удалось усовершенствовать так, чтобы они поглощали энергию в более широком диапазоне электромагнитного спектра, считает Ковальски, их эффективность резко возросла бы.

Во-первых, значительное количество солнечной энергии, особенно в ультрафиолетовой области спектра, способно проникать через облачный покров и поэтому достигает солнечных батарей даже в пасмурный день. Во-вторых, усовершенствованная система не нуждалась бы в сложных устройствах слежения, которые поворачивают батарею вслед за Солнцем: коллектор солнечного излучения, выполненный из «волосатого» материала, мог бы улавливать радиацию независимо от того, с какого направления она приходит.

Переключатели пола

«Почему бы женщине не быть похожей на мужчину?» — поет профессор Хиггинс в мюзикле Лернера и Лоу «Моя прекрасная леди». Ответ на этот вопрос, отчасти найден группой исследователей, включающей ученых из Канады и Финляндии и руководимой Д. Пэйджем из Уайтхедского института медико-биологических исследований. В журнале «Cell» опубликовано их сообщение о том, что, похоже, обнаружен фундаментальный генетический переключатель, определяющий пол зародыша у человека.

У человека, как и у других млекопитающих, мужской и женский зародыши вначале, примерно первые 5 недель после оплодотворения, развиваются одинаково, но в определенный момент некий генетический сигнал приводит в действие каскад биохимических процессов, ведущий к развитию мужских половых структур. В отсутствие этого сигнала из зародыша получается женская особь. Давно известно, что загадочный генетический сигнал имеет какое-то отношение к хромосомам, определяющим пол. У человека ими являются хромосомы 23-й пары; в норме у женщин они одинаковы — XX, а у мужчин разные — X и Y. С 1959 г. считается, что фактор, инициирующий развитие семенников, закодирован в Y-хромосоме. Исследования индивидов с аномальными комбинациями «половых» хромосом показали, что в отсутствие Y-хромосомы первичные мужские половые признаки не развиваются.

Исходя из этого, Пэйдж с коллегами изучали те редкие случаи, когда индивид, физически являющийся женщиной, имеет большую часть Y-хромосомы и когда человек, который по всем признакам мужчина, тем

не менее не имеет Y-хромосомы. При анализе ДНК выяснилось, что у таких мужчин на самом деле присутствует небольшой фрагмент Y-хромосомы, а у женщин с Y-хромосомой тот же фрагмент отсутствует. Как полагает Пэйдж, эти наблюдения являются веским косвенным свидетельством того, что фрагмент, отсутствующий у женщин с Y-хромосомой, включает по меньшей мере часть гена, который у зародыша обуславливает развитие семенников из индифферентных гонад. Судя по нуклеотидной последовательности, предположительно кодирующей фактор развития семенников, продукт этого гена сходен с белками, о которых известно, что они связываются с ДНК и таким образом контролируют активность генов; Пэйдж считает, что ген фактора развития семенников действует аналогично. Чтобы получить прямое доказательство того, что ген фактора развития семенников заключен в выявленном фрагменте Y-хромосомы, Пэйдж с сотрудниками собираются вводить мышинным эмбрионам женского пола эквивалентную дозу предполагаемого гена; если он действительно кодирует фактор развития семенников, то из генетически женских зародышей должны получиться самцы.

Открытие гена, кодирующего фактор развития семенников, интересно само по себе. Но, кроме того, важность его также в том, что по словам Пэйджа, это первый явный пример гена, управляющего развитием целой системы органов у млекопитающих. Исследователи сделали еще одно поразительное открытие: в X-хромосоме содержится самостоятельный ген, очень похожий на предполагаемый ген фактора развития семенников, локализованный в Y-хромосоме. Его роль не известна; по мнению Пэйджа, он, вероятно, тоже имеет ключевое значение в определении пола. Одной из причин предполагать, что этот ген в X-хромосоме выполняет важную функцию, является его длинная эволюционная история. Сходные гены обнаружены в X- и Y-хромосомах самых разных млекопитающих — от кроликов до крупного рогатого скота. Даже у кур в «половых» хромосомах есть похожие последовательности, что весьма удивительно, так как у птиц пол определяется хромосомами иначе, чем у млекопитающих. Пэйдж отмечает, что установление роли найденного гена в X-хромосоме совершенно изменит наши представления о хромосомной основе определения пола.

На пороге нового поколения транзисторов

Компоненты обычных интегральных схем могут уменьшаться в размерах до тех пор, пока сохраняются их функциональные свойства. Дальнейшая миниатюризация требует создания принципиально новых полупроводниковых приборов

РОБЕРТ Т. БЕЙТ

ЭЛЕКТРОННАЯ промышленность и интегральные схемы развиваются в противоположных направлениях: масштабы отрасли растут, а размеры схем уменьшаются, и эта тенденция будет продолжаться. Но здравый смысл и тщательный анализ показывают, что в ближайшее десятилетие, возможно, наступит предел, при котором дальнейшее уменьшение размеров интегральных схем с помощью существующей технологии станет невозможным. Даже если практические ограничения самой технологии и будут преодолены, то физические законы, лежащие в основе работы компонентов схемы, устанавливают свои фундаментальные пределы на размеры компонентов. Поэтому для обеспечения дальнейшего развития электронной промышленности необходима новая техническая революция.

Как физик, работающий в фирме Texas Instruments, Inc., я уже давно убежден в том, что назрела необходимость в установлении нового предельного размера для полупроводниковых приборов. В 1982 г. мой коллега П. Шаттери опубликовал статью, которая подкрепляла мое убеждение, поскольку в ней было указано, насколько близко мы подошли к конечной точке развития обычной технологии. Существуют различные оценки в отношении предельно достижимых минимальных размеров отдельных компонентов, все они укладываются в диапазон от 100 до 500 нм (0,1 — 0,5 мкм). Обсуждая эту проблему, многие из нас пришли к выводу, что как раз те явления, которые ограничивают размер обычных схем, могли бы быть положены в основу нового поколения гораздо более эффективных приборов. Функциональной базой таких приборов будут квантово-механические эффекты, которые переносят полупроводниковую технологию в сферу физики, где субатомные частицы проявляют себя как волны и благодаря этому способны проходить че-

рез прежде непреодолимые барьеры. Я уверен, что с появлением так называемых квантовых полупроводниковых приборов схему суперкомпьютера можно будет разместить всего на одном кристалле.

Структуры для квантовых приборов уже изготовлены из материалов, используемых для обычных микросхем: легированного кремния, легированного и нелегированного арсенида галлия и арсенида галлия-алюминия. Однако, поскольку эти приборы будут примерно в 100 раз меньше по сравнению с современными, их конструирование и изготовление окажутся намного сложнее. Для их производства потребуется и новая, более сложная технология, и новая стратегия в создании архитектуры и межсоединений; и то и другое должно отвечать требованиям, диктуемым кардинальным уменьшением размеров.

Как бы все это ни казалось непреодолимым, усилий на решение возникающих проблем жалеть не стоит, если учесть, что квантовые приборы могут в десятки тысяч раз снизить стоимость одной операции. Разработка новой технологии в действительности сопряжена со значительно меньшими трудностями по сравнению с теми, которые стоят на пути освоения новых материалов, требующего новых методических подходов. Прогресс, достигнутый в фирме Texas Instruments, а также в ряде других промышленных, правительственных и академических лабораториях во всем мире, говорит о том, что квантовые приборы могли бы произвести ту революцию, без которой немыслимо дальнейшее развитие электроники.

ГЛАВНЫМ мотивом стремления к уплотнению электронных компонентов в интегральных схемах является желание уменьшить стоимость и время выполнения одной операции. Большинство операций в микросхемах выполняется транзисторами, которые по существу работают как пе-

реключатели. Скорость и точность, с которой может производиться переключение, равно как и необходимая для этого мощность, определяют время и стоимость одной операции, выполняемой данным прибором. Благодаря своим малым размерам транзисторный переключатель, работающий на квантовом принципе, срабатывал бы быстрее и потреблял бы меньшую мощность по сравнению с обычным транзистором; вследствие особенностей квантовых явлений работа такого прибора подавалась бы более тщательному контролю.

Эти особенности можно лучше оценить, если сопоставить принципы работы традиционных транзисторов и тех, которые придут им на смену. В современной электронике наибольшее распространение получили так называемые полевые транзисторы. Они изготавливаются из полупроводниковых материалов, легированных атомами примесей, создающих в его массе носители зарядов. Эти носители могут быть либо электронами, имеющими отрицательный заряд, либо положительно заряженными «дырками». Легированные полупроводники, в которых носителями заряда являются отрицательные электроны, называются полупроводниками *n*-типа, если же в полупроводнике носителями заряда являются положительно заряженные дырки, то он называется полупроводником *p*-типа. Традиционным материалом для интегральных схем является кремний, но уже разработаны транзисторы на основе арсенида галлия (GaAs), обладающие повышенным быстродействием.

Оба типа транзисторов имеют несколько различную структуру (см. рисунок на с. 68). В обычном полевом транзисторе область кремния *n*-типа, называемая истоком, отделена от другой *n*-области, называемой стоком, каналом *p*-типа. Сверху этого канала находится металлический контакт, называемый затвором, который изолирован от поверхности полу-

проводника слоем оксида кремния. (Эта структура металл—оксид—полупроводник сокращенно обозначается МОП.) К стоку прикладывается положительное напряжение; если более слабый положительный потенциал подвести также и к затвору, то электроны устремятся в канал под затвором, образуя мостик из отрицательных носителей заряда между двумя *n*-областями. Такой мостик, называемый инверсным слоем, позволяет электронам из истока протекать к несущему положительный потенциал стоку. Этот поток может быть прерван, если снять потенциал на затворе; в результате электроны в инверсном слое рассеются.

Транзистор на основе арсенида галлия также имеет затвор и два других электрода — исток и сток, но *n*-области в подложке специально не создаются (см. статью: Уильям Р. Френли. Транзисторы на арсениде галлия, «В мире науки», 1987, № 10, с. 52—60). Когда положительный потенциал приложен и к затвору и к стоку, поток зарядов от источника идет свободно. Если же к затвору приложить отрицательный потенциал, он отталкивает электроны и блокирует их поток.

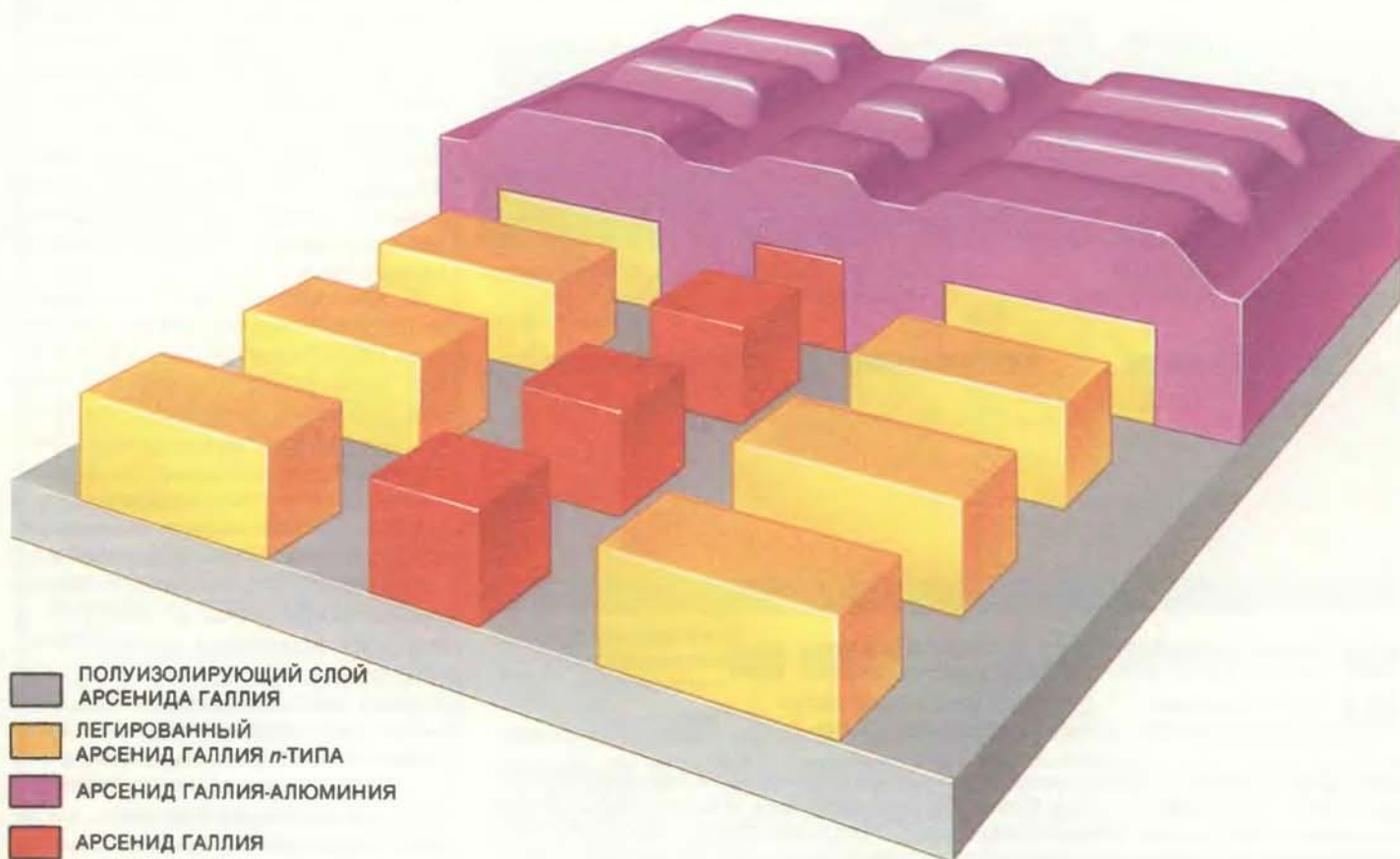
Оба типа транзисторов являются

трехэлектродными приборами, и в обоих из них изменение напряжения на затворе является наиболее чувствительным способом переключения прибора. Следовательно, путем изменения напряжения на затворе можно переключать транзистор либо в состояние «да», либо в состояние «нет». Эти приборы хорошо работают на современном уровне миниатюризации, но при уменьшении их размеров различия между состояниями при переключении становятся незаметными. При очень малых размерах токи утечки препятствуют достижению истинного состояния «нет». Поэтому требуется большее потребление мощности. Примеси и дефекты в полупроводниковых кристаллах могут рассеивать электроны, ухудшая проводимость и снижая способность транзистора к переключению. Из-за всех этих недостатков дальнейшая миниатюризация обычных полевых транзисторов ограничена: чем они меньше, тем хуже переключаются.

ПОСКОЛЬКУ принцип работы квантовых полупроводниковых приборов будет качественно иным, можно ожидать, что они смогут эффективнее осуществлять переключе-

ние при малых размерах, не достижимых для обычных транзисторов. Это различие видно из вольт-амперных характеристик. В частности, некоторые квантовые полупроводниковые приборы имеют характеристики с отрицательным дифференциальным сопротивлением. Это означает, что в определенной области напряжений проходящий через прибор ток уменьшается с увеличением напряжения. На графике зависимости тока от напряжения это свойство проявляется в виде наличия максимума тока и провала, так называемой долины (см. рисунок на с. 70). Наличие отрицательного дифференциального сопротивления часто служит для физика указанием на то, что в данном приборе проявляются квантовые эффекты.

В основе природы квантовых эффектов лежат волновые свойства электрона. Из квантовой теории следует, что электрон ведет себя как волна в области пространства, размеры которой сопоставимы с его длиной волны. Следовательно, в квантовом приборе хотя бы один линейный размер должен быть сравним с длиной волны электрона. В арсениде галлия при комнатной температуре длина волны электрона составляет 200 Å.



КВАНТОВЫЙ КРИСТАЛЛ содержит компоненты в 100 раз меньше, чем в обычном кристалле. Ток протекает от одного блока легированного арсенида галлия *n*-типа к другому через слой арсенида галлия—алюминия, куб арсенида галлия и затем через другой слой арсенида галлия—алюми-

ния. Благодаря квантовым эффектам, которые проявляются в слоях столь малых размеров, ток оказывается весьма чувствительным к изменению приложенного напряжения, и поэтому им легко управлять. Это — идеальная модель; действующий прибор такого типа пока не изготовлен.

Барьеры, которые могут локализовать электроны, — это энергетические, а не физические барьеры. Все электроны обладают определенной энергией, или, как говорят, занимают те или иные энергетические уровни; уровни, на которых могут находиться электроны, являются характеристикой данного вещества. Группа близко расположенных уровней называется зоной. В большинстве твердых тел энергетические уровни в каждой зоне расположены так близко, что по существу непрерывны, и электроны могут занимать любой из этих уровней.

По относительному положению энергетических зон в двух различных веществах можно судить о возможности прохождения через них электрического тока. Для того чтобы электрон мог перейти из одного вещества в другое без изменения энергии, энергетические зоны должны перекрываться. Так, в одном веществе уровень, занятый электронами и называемый уровнем Ферми, должен совпадать с энергетической зоной второго вещества. Если энергетические уровни (зона) второго вещества находятся значительно выше уровня Ферми первого

вещества, то второе вещество является барьером для электронов первого. Например, в обычном состоянии арсенид галлия-алюминия (AlGaAs) представляет собой барьер для электронов в арсениде галлия *n*-типа. Электроны не могут перейти из легированного GaAs в AlGaAs, потому что зона проводимости AlGaAs находится намного выше уровня Ферми GaAs. Вместе с тем, если физические размеры барьера таковы, что начинают проявляться волновые свойства электронов, то электроны будут туннелировать через AlGaAs. Поэтому если между двумя слоями легированного GaAs находится тонкий слой AlGaAs (менее 200 Å), то электроны туннелируют через этот слой, переходя из одного слоя GaAs в другой. Туннелирование является одним из квантовых эффектов.

КОГДА электроны заключены в ограниченной барьерами области пространства, по размерам сравнимой с длиной волны электрона, то проявляются также два других взаимосвязанных эффекта — размерное квантование и резонанс. В результате

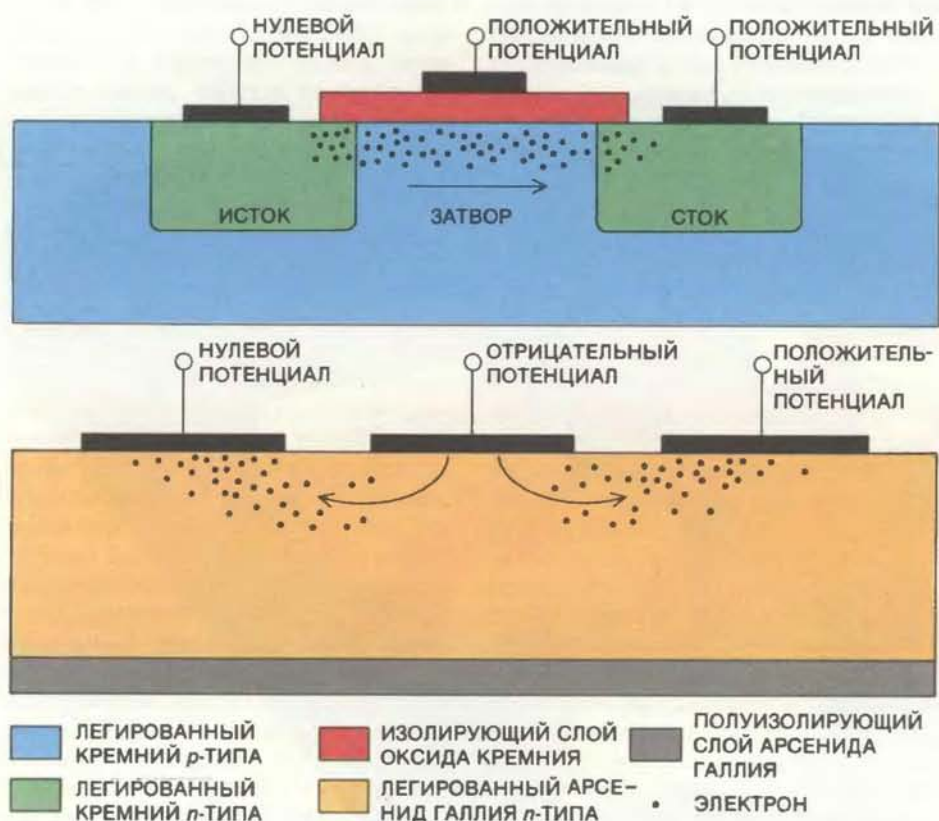
размерного квантования непрерывный спектр энергетических уровней электронов в зоне проводимости твердого тела становится дискретным. Наглядно это можно представить на графике плотности состояний, который показывает число разрешенных энергетических состояний электронов в заданном энергетическом интервале (см. рисунок на с. 69).

Например, когда тонкий слой нелегированного арсенида галлия ограничен барьерами AlGaAs, плотность состояний в этом слое приобретает ступенчатый вид. Степень квантования зависит от пространственного ограничения. Когда электроны в GaAs ограничены по всем трем измерениям (это называется квантовой точкой), уровни энергии электронов дискретны; при одномерном ограничении (или в двумерном пространстве, называемом «квантовой ямой») или при двумерном ограничении (в одномерном пространстве, называемом «квантовой нитью») уровни в определенной мере непрерывны.

Резонанс — другое следствие размерного квантования, причем наступает он только при достижении определенной степени последнего. Электронные волны в квантовой потенциальной яме отражаются от передней и задней стенок, если они не прозрачны (см. рисунок на с. 71). В том случае, если энергетические уровни электронов по обе стороны потенциального барьера совпадают по энергии, т. е. электронные волны находятся в резонансе, то туннельный ток будет больше. Размерное квантование и резонанс есть результат интерференции волн, бегущих в прямом и обратном направлениях.

В действительности очень трудно разделить, в какой степени усиление тока обусловлено резонансом и в какой увеличением плотности состояний на данном энергетическом уровне. Для работы традиционного транзистора это не существенно. Что же касается квантовых приборов, то в них два близких по значению напряжения могут вызвать совершенно разные отклики. Это различие особенно сильно проявляется в структуре с большим размерным ограничением, например в квантовых точках, где степень квантования наивысшая. При напряжении, соответствующем резонансу уровней и высокой плотности состояний, туннельный ток максимален; при других напряжениях, когда квантовые уровни по разные стороны барьера не совпадают, туннельный ток минимален.

Для наглядного представления того, каким образом эти квантовые эффекты работают в транзисторе, представим себе две пластинки из легиро-



ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ являются основным компонентом большинства современных интегральных схем. Они работают на основе законов классической физики. В кремниевом транзисторе (вверху) электроны перетекают от истока к положительно смещенному стоку, если к затвору приложен положительный потенциал. Этот потенциал создает электронный мостик между двумя *n*-областями. Без такого мостика электроны в *p*-канале кремния рассеиваются и канал становится непроводящим. Напротив, в транзисторе на основе арсенида галлия (внизу) область под затвором является проводящей при нулевом потенциале на затворе; отрицательный потенциал на этом электроде прерывает поток электронов от истока к стоку.

Книги Издательства „Мир“

К. Боуден ФИЗИЧЕСКАЯ ОКЕАНОГРАФИЯ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД

Перевод с английского

Книга известного английского океанолога написана на основе лекций, прочитанных им в Ливерпульском университете (Великобритания), и посвящена специально динамике шельфовых вод — предмету, которому в обычных курсах океанологии уделяется мало внимания. Между тем, именно шельфовые воды стали в последние десятилетия объектом усиленного хозяйственного освоения, в том числе разведки и добычи нефти и газа.

Начиная с определения прибрежных вод и оценки их значения для человечества, автор последовательно описывает особенности поведения вод вблизи берегов: приливно-отливные и нагонные течения, поверхностные волны, перемешивание, температурно-солевой режим, обмен с глубинными водами. Достоинства книги — четкий и ясный язык, большое число фактических сведений, таблиц и карт, связь с практическими потребностями использования шельфовых вод и дна.

Содержание: Приливы и приливные течения. Поверхностные волны. Течения и нагоны, вызываемые ветром. Прибрежный апвеллинг. Потоки, вызываемые разностью плотностей, и распределение солёности. Распределение температуры и сезонный термоклин. Процессы обмена и перемешивания вод. Взаимодействие между прибрежной и океанской циркуляцией.

Для широкого круга специалистов, интересы которых связаны с исследованиями и эксплуатацией прибрежных вод. Может служить учебным пособием.

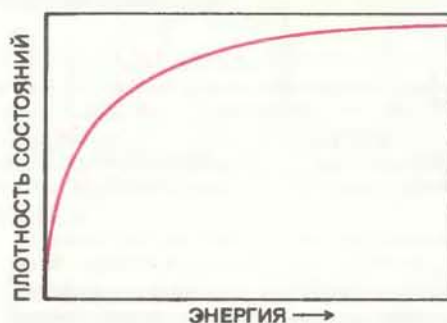
1988, 20 л. Цена 3 р. 30 к.



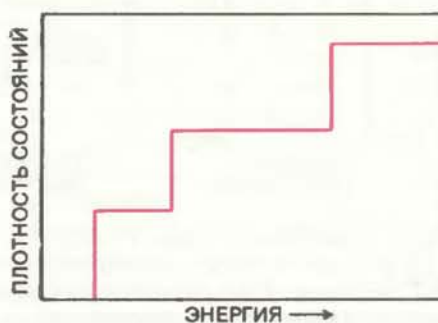
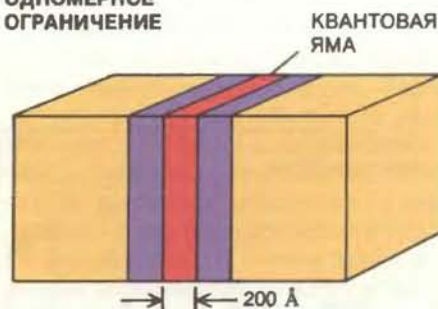
ванного арсенида галлия *n*-типа, разделенные квантовой точкой, образованной барьерами AlGaAs—GaAs. Чтобы электроны могли пройти из одной пластинки легированного GaAs в другую, они должны туннелировать в квантовую точку GaAs через два

ограничивающих ее слоя AlGaAs. Туннельный ток в этом случае возможен, если уровень Ферми в GaAs *n*-типа, из которого идет эмиссия электронов, будет совпадать с энергетическим уровнем в квантовой точке. Уровень Ферми «эмиттера» GaAs может

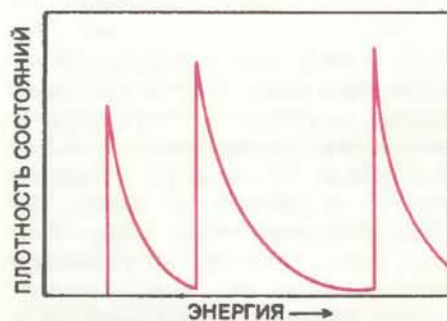
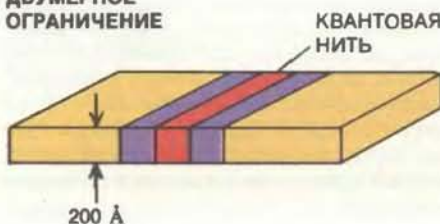
НЕТ ОГРАНИЧЕНИЯ



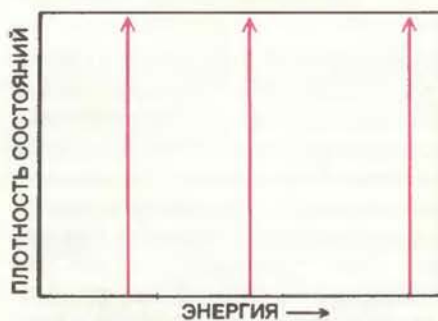
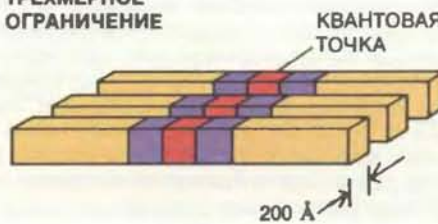
ОДНОМЕРНОЕ ОГРАНИЧЕНИЕ



ДВУМЕРНОЕ ОГРАНИЧЕНИЕ

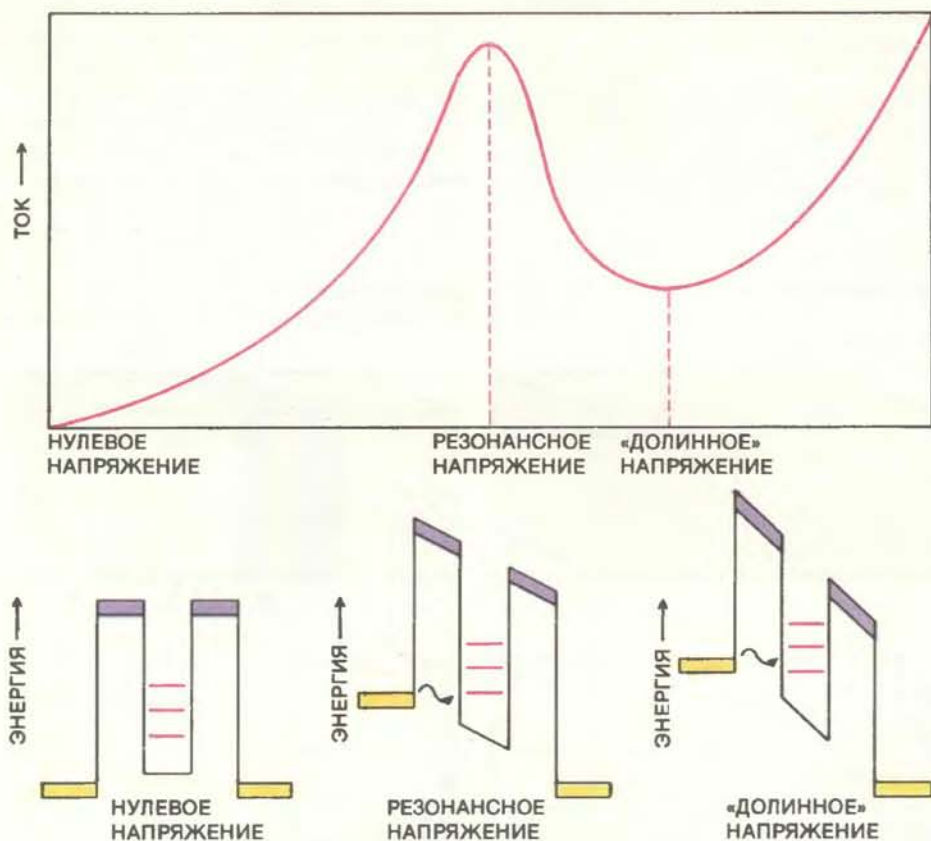


ТРЕХМЕРНОЕ ОГРАНИЧЕНИЕ



ЛЕГИРОВАННЫЙ АРСЕНИД ГАЛЛИЯ *n*-ТИПА
 АРСЕНИД ГАЛЛИЯ-АЛЮМИНИЯ
 АРСЕНИД ГАЛЛИЯ

КВАНТОВОЕ ОГРАНИЧЕНИЕ изменяет энергетические состояния электронов в проводящем материале. Например, в объеме обычного легированного арсенида галлия *n*-типа (вверху слева) электроны могут занимать любые энергетические уровни; но, если слой арсенида галлия (толщиной около 200 Å) с обеих сторон ограничен слоями арсенида галлия—алюминия, в арсениде галлия создается квантовая потенциальная яма шириной порядка длины волны электрона; плотность состояний электронов в этой потенциальной яме в результате размерного квантования становится ступенчатой (вверху справа). Двумерное ограничение потенциальной ямы называется квантовой нитью (внизу слева). Степень квантования зависит от размера ограничения. Полное квантование реализуется, когда малый объем арсенида галлия ограничен по трем измерениям в структуре с квантовой точкой (внизу справа).



ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ квантовых приборов отражают квантование энергетических состояний в потенциальной яме арсенида галлия. В таких приборах в определенном интервале напряжений ток уменьшается с увеличением напряжения, приложенного к одному из контактов арсенида галлия *n*-типа. Это объясняется тем, что при определенном напряжении (называемом резонансным) средняя энергия электронов в материале *n*-типа (*верхняя граница желтой зоны*) смещается и совпадает с одним из квантовых уровней (*красный*) в потенциальной яме; при изменении напряжения состояния, занятые электронами в легированном арсениде галлия, оказываются между квантовыми уровнями в яме. Таким образом, при резонансном напряжении электроны могут туннелировать (*стрелка*) через энергетический барьер арсенида галлия—алюминия (*фиолетовый*) в квантовую яму, в то время как при так называемом долинном напряжении туннелирования не происходит, так как в потенциальной яме нет совпадающих по энергии уровней.

быть поднят по отношению к другим уровням в данной структуре, если к «коллектору» GaAs на другой стороне квантовой точки приложить положительный потенциал. При совпадении уровней становится возможным резонансное туннелирование электронов. Это реализуется только при определенном напряжении; при других напряжениях проводимость весьма мала и будет обусловлена только термическим возбуждением, утечкой и рассеянием электронов. Следовательно, изменением внешнего напряжения можно контролировать процесс переключения такого полупроводникового прибора.

ИЗ ПРИВЕДЕННОГО описания может показаться, что создание структуры с квантовой точкой является делом отдаленного будущего, но в действительности реализация такого квантового прибора потребует не

так уж много лет. Начало использования квантовых эффектов в полупроводниковых приборах относится к 50-м годам. Туннельный диод Исаки (названный по имени его создателя Лео Исаки, работающего сейчас в Исследовательском центре Томаса Уотсона фирмы IBM в Йорктаун-Хейтсе, шт. Нью-Йорк) был первым квантовым прибором. В этом диоде *n*- и *p*-области легированного полупроводника в месте контакта образуют слой, не содержащий носителей заряда. В результате сильного легирования этот слой, называемый слоем объемного заряда, становится настолько тонким, что электроны туннелируют через него. Эти диоды не получили широкого применения, так как трехэлектродные устройства, которые были разработаны в это время, оказались более эффективными и удобными.

В 60-х годах исследователи этого

Книги издательства „Мир“

ОБСТАНОВКИ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ И ФАЦИИ

Перевод с английского
в 2-х томах

В книге приводятся результаты фундаментальных исследований и обширный новейший материал по главным типам глобальных осадочных обстановок верхней оболочки Земли. Рассматриваются соотношения различных фациальных типов осадков в разрезе и на площади, контакты и переходы между фациями, комплексы фаций и объединение фаций в группы и серии, а также факторы, контролирующие природу и распространение фаций. Анализируется взаимосвязь между осадкообразованием и тектоникой. В 1-ом томе освещены осадочные обстановки, свойственные им фации и процессы аллювиальных отложений, дельт, озер, пустынь, прибрежных мелководных морских образований. Во 2-ом томе освещены осадочные обстановки и свойственные им фации морских мелководных карбонатных образований, глубоководных пелагических и кластогенных отложений, а также обстановки современного и древнего ледового литогенеза. Для всех разделов книги даны прекрасные иллюстративные схемы, рисунки и фотографии, делающие ее особенно доступной для конкретного применения при полевых исследованиях.

Для литологов и геологов, занимающихся изучением осадочных пород, а также для студентов геологических специальностей.

76 л. Цена 15 р. 60 к. за комплект.





ТУННЕЛИРУЮЩИЕ ЭЛЕКТРОНЫ (стрелки) резонируют в квантовой яме арсенида галлия (красный), когда к одному из контактов приложено резонансное положительное напряжение (вверху). Электронные волны отражаются от стенок потенциальной ямы и вследствие резонанса создают ток, соответствующий максимуму на вольт-амперной характеристике, приведенной на рисунке на с. 70. При долинном напряжении (внизу) туннелирование мало, так как волны не попадают в резонанс, и поэтому ток резко падает.

центра установили, что квантовое ограничение в одном направлении имеет место в инверсном слое кремниевого полевого МОП-транзистора. Поскольку влияние квантовых эффектов на характеристики такого прибора было слабым, открытие оказало очень малое влияние на развитие транзисторов. Последующая работа Ника Холоньяка-младшего из Иллинойского университета в Эрбана-Шампейне сделала квантовые ямы стандартным компонентом структуры лазеров. В 70-х годах Л. Исаки вместе с Л. Чангом из Исследовательского центра Томаса Уотсона и Р. Тзи, работающим теперь в Сельскохозяйственном и техническом университете шт. Северная Каролина, провел первые эксперименты по резонансному туннелированию в квантовых ямах. Квантовые эффекты в транзисторах проявлялись с большим трудом вплоть до недавнего времени, когда в полевых транзисторах начали использоваться так называемые легированные модулированные структуры. Однако квантовые ямы в этих приборах служат только для увеличения подвижности электронов и другим образом себя не проявляют.

Все эти разработки, какими бы далекими от практики они ни казались, способствовали созданию квантовых полупроводниковых приборов, и, когда интерес к этой области вышел за рамки отдельных лабораторий, тех-

нология получения экспериментальных структур была уже готова. За последние четыре года реализация 0-мерных квантовых структур была в центре внимания исследователей во всем мире. В лабораториях фирм AT&T Bell Laboratories и IBM, Массачусетского технологического института, Кембриджского университета, а также в исследовательских лабораториях фирмы Philips было продемонстрировано размерное квантование в квантовых нитях в приборах на основе кремния и арсенида галлия; квантовые точки были получены в исследовательских центрах фирм AT&T, Bell Communications, Hughes, в Университете в Глазго, а также в фирме Texas Instruments, где наблюдалось явное проявление размерного квантования в точках.

ДЕЙСТВУЮЩИЕ полупроводниковые приборы на структурах с квантовыми точками пока еще не сконструированы, но их опытные образцы должны вот-вот появиться. Одной из задач проводимых в настоящее время исследований является переход от квантовых приборов, которые пока конструктивно разработаны лишь в форме диодов, к трехэлектродным приборам, у которых третий контакт непосредственно модулирует потенциал, приложенный к квантовой структуре. Такая структура легла бы в основу самого компакт-

ного прибора, скорость переключения которого наиболее близка к максимально достижимой при туннелировании. Подходящая технология изготовления таких приборов уже имеется, однако создание контактов для таких тонких слоев потребует огромной изобретательности.

Помещая квантовые точки в непосредственной близости друг от друга, можно обеспечить условия для туннелирования электронов от одной точки к другой, т. е. их переход из одного квантового состояния в другое. Такое устройство должно обеспечить полную определенность в работе схемы, так как предполагается, что энергетические состояния электронов в начальном и конечном состояниях строго определены. И в этом случае основная проблема заключается в решении невероятно трудной задачи создания структур, в сотни раз меньших по сравнению с любым изделием современной электроники. Переход к элементам столь малых размеров в свою очередь породит ряд проблем, связанных с обеспечением межсоединений и формированием архитектуры схем. Промышленность должна их решить до того, как будет налажено массовое производство квантовых полупроводниковых устройств.

Привлечение большого числа исследователей к решению проблем в данной области свидетельствует об огромном потенциале новых приборов и об уверенности, что они займут лидирующее положение на следующем этапе развития электроники. Затраты и риск неизбежны, если мы хотим придать новый импульс быстро развивающейся электронной промышленности. В результате обществу от этого только выиграет, поскольку развитие научно-технического прогресса во многом определяется тем, каков уровень интеграции современных микросхем.

НАПОМИНАЕМ АДРЕСА МАГАЗИНОВ — ОПОРНЫХ ПУНКТОВ ИЗДАТЕЛЬСТВА «МИР»

480064 Алма-Ата,
просп. Абая, 35, магазин «Прогресс»
370105 Баку,
ул. Кецховели, 556/557, квартал № 17,
магазин № 28
232000 Вильнюс,
просп. Ленина, 29, магазин «Техника».
603006 Горький,
ул. Горького, 156,
магазин № 29 «Наука»
141908 Дубна,
ул. Векслера, II, головной магазин
375019 Ереван,
ул. Барекамутян, 24-а, магазин № 29

Древнеримский порт Косса

В период своего расцвета в 100 г. до н. э. этот порт имел мастерские по производству амфор, винодельню, комплекс по переработке рыбы, водораспределительную систему, а также гавань с бетонными пирсами — всем этим управляла одна предприимчивая семья

АННА МАРГЕРИТ МАККАНН

В ДРЕВНОСТИ, когда торговля и связь между странами осуществлялись главным образом по морю, порты играли еще большую роль, чем сейчас. Они были центрами ввоза товаров, идей и рабов, а также накопления богатства. Тем не менее, несмотря на столь большое значение портов, археологи уделяли им мало внимания. Со времени изобретения в 1942 г. автономных аппаратов для спуска человека под воду наибольший интерес у морских археологов вызывают лишь корабли, потерпевшие крушение. Поэтому важно, когда исследования древнего порта ведутся с применением комплекса методов современной археологии. Именно так и проводилось исследование древнеримского порта Косса, где группа археологов, геологов, инженеров и других специалистов работала под моим руководством в течение 22 лет.

В период поздней Римской республики (второе — первое столетия до н. э.) Косса был одним из главных портов в Западном Средиземноморье. Основу его благосостояния составлял коммерческий комплекс, включавший гавань с бетонными пирсами, маяк, комплекс, или предприятие, по переработке рыбы, мастерские по изготовлению амфор, винодельню, а также механизм для подъема пресной воды из источника. Значительной частью этого комплекса владела, вероятно, одна семья, известная как Сестии. Род Сестиев можно считать покровителем технологии подобно тому, как род Медичи был покровителем искусств в эпоху Возрождения. Хотя Сестии были известны как политические деятели Древнего Рима, открытие их роли в международной торговле было неожиданностью.

Исследования в Коссе принесли и другие неожиданные результаты. Так, общепринятое время зарождения древнеримской международной торговли было отодвинуто назад на два столетия. Были обнаружены самые

ранние из известных образцы так называемого римского бетона, получаемого из пуццоланы и используемого для гидротехнических сооружений, а также остатки самого древнего древнеримского маяка. В лагуне за портом находилось первое в Древнем Риме предприятие по разведению и переработке рыбы. Нами были также обнаружены остатки древнейшего водоподъемного механизма, относящегося к тому типу, который все еще используется на Ближнем Востоке. В результате этих раскопок на карте появился крупный древний порт, что редко бывает в наше время.

Римляне основали латинскую колонию Косса в 273 г. до н. э., вскоре после завоевания близлежащих этрусских городов Вулчи и Вольсинии. Расположенная примерно в 140 км (дневной путь по морю в благоприятную погоду) севернее Рима колония Косса находилась на единственном в пределах многих сотен километров высоком мысу с защищенной якорной стоянкой. Во времена прибрежной навигации, когда суда ориентировались по огням на берегу и очертаниям прибрежной полосы, мыс Косса был главным ориентиром для судов, обходящих полуостров Арджентарио (расположен к северо-западу от Коссы) и направлявшихся вверх к берегам Галлии (ныне побережье Франции) и Испании. Владение мысом Косса имело жизненно важное значение для любой системы морской обороны и торговли не только в прилегающих районах, но и во всем Западном Средиземноморье.

Первая половина третьего столетия до н. э. (именно к этому времени относится основание колонии Косса) была решающим периодом для Древнего Рима. Подчинив этрусков на севере и греков на юге, римляне стали владыками всего Апеннинского полуострова. После этого римская экспансия вышла за пределы Апеннинского полуострова и римляне вступили в борьбу с Карфагеном — крупнейшей

морской державой того времени (так называемые Пунические войны). Одержав победу над Карфагеном в середине второго столетия до н. э., Рим превратился в крупнейшую средиземноморскую державу. Этот успех был обусловлен главным образом планомерным основанием колоний вдоль побережья Тирренского моря. Оборонительная роль этих колоний неоспорима и давно общепризнана. Однако наши раскопки в порте Косса позволяют предположить, что стимулом к основанию прибрежных колоний послужило также торговое соперничество с Карфагеном в Западном Средиземноморье.

Важная роль торговли заставляет по-новому взглянуть на колонию Косса, территория которой протянулась более чем на 30 км вдоль части тосканской прибрежной линии, известной сегодня как Маремма. Следует отметить, что порт не был единственной составной частью колонии. На холме за портом находился укрепленный город Косса. Начиная с 1948 г. Американская академия в Риме произвела частичные раскопки этого города. Город, несомненно, был религиозным и гражданским центром колонии, и сначала предполагалось, что именно он играл ключевую роль в колониальной жизни района. Никто не подозревал, что ниже находился крупнейший порт Средиземноморья, однако сейчас очевидно, что этот порт был экономическим центром колонии и главным источником ее благосостояния.

Одной из причин процветания порта было то, что в нем находился единственный в округе источник пресной воды. Тогда как в городе Косса и близлежащем порту Геркулес (ныне Порт Ерколе) на полуострове Арджентарио приходилось пользоваться только дождевой водой, порт Косса имел множество источников, сполна обеспечивавших пресной водой команды кораблей и несколько производств: мастерские по изготовлению

амфор, винодельню и предприятие по обработке рыбы. В ходе раскопок был обнаружен самый крупный из источников, скорость истечения воды в котором составляет около 1500 л/м. Судя по числу разбитых питьевых сосудов, обнаруженных поблизости, этим источником в античные времена пользовались местные жители.

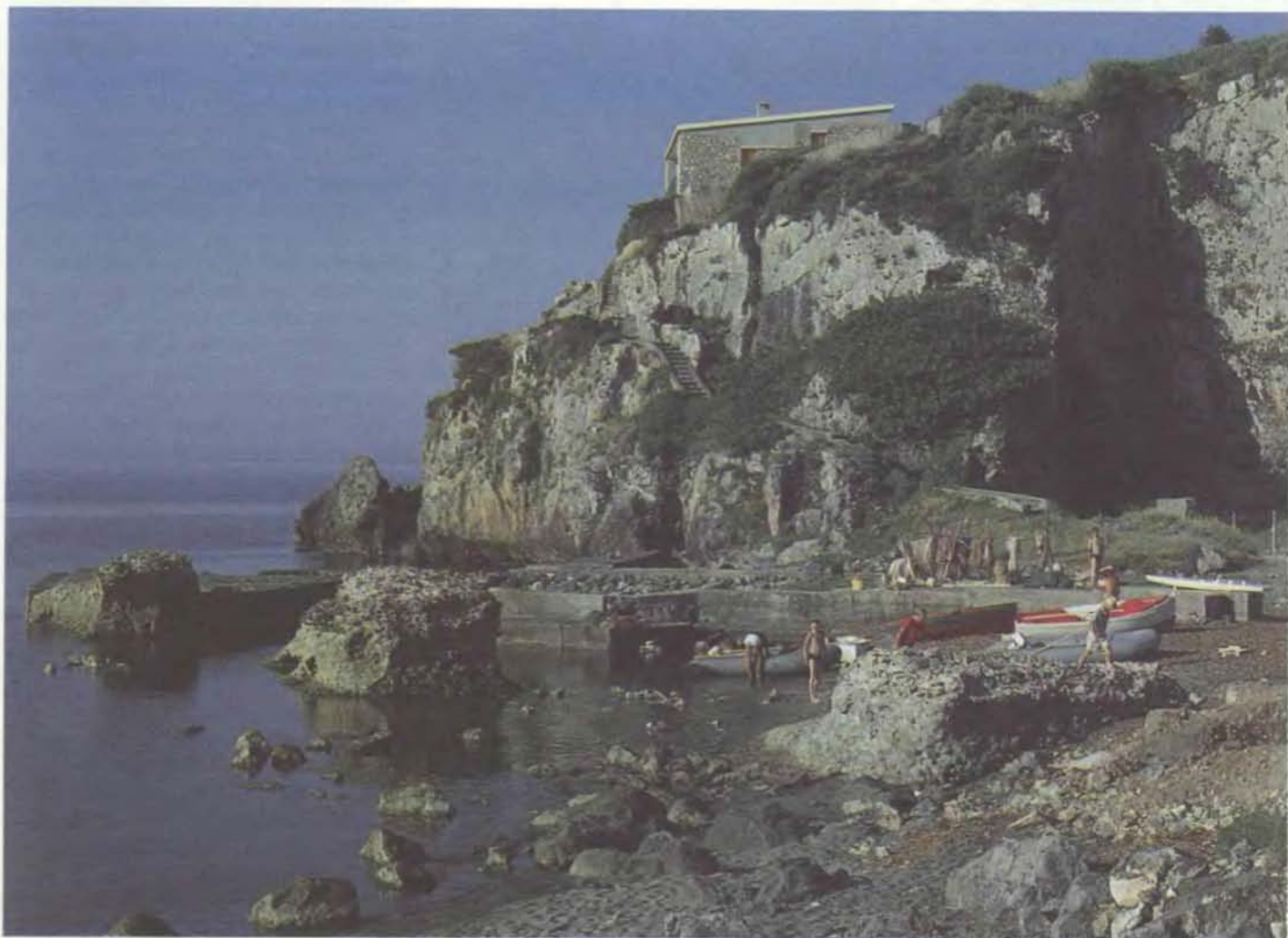
Как выглядел порт Косса в наиболее оживленный период своей торговой деятельности примерно в 100 г. до н. э.? Естественный вид гавани, которая была центральным элементом комплекса, был значительно изменен римскими инженерами. Чтобы увеличить защиту от волн, обеспечиваемую в какой-то мере мысом, в воду с утесов были сброшены известняковые камни, образовавшие волнорез. Каменная платформа длиной около 110 и шириной 70 м в настоящее время погружена в песчаное дно гавани, однако во времена Древнего Рима она выступала из воды. Платформа предназначалась для того, чтобы гасить набегавшие волны, одновременно давая возможность при-

брежным потокам свободно циркулировать через неплотно сомкнутые камни, что предотвращало заиливание — главную угрозу гаваням. Джон Д. Льюис, военный инженер нашей экспедиции, пришел к заключению, что такая конструкция была результатом работы опытных инженеров, которым была знакома местная картина волн и течений.

ОТ БЕРЕГА в море уходили три бетонных пирса, остатки которых и сейчас выступают над водой в Коссе. Другие два пирса, скрытые ныне под водой, располагались на волнорезе. Пирсы предназначались для швартовки, разгрузки судов, а также для защиты от волн меньшего, внутреннего, водоема. Для их сооружения использовался известково-пуццолановый раствор, смешанный с кусками известняка, вулканическим туфом и осколками амфор. (Анализ состава материала, из которого сооружены пирсы и другие бетонные конструкции Коссы, выполнен Элайн К. Газдой из Мичиганского университета.)

Пуццолана представляет собой порошкообразную вулканическую золу; смешанная с известью и водой, она образует прочный связующий материал, твердеющий и не разрушающийся в соленой и пресной воде. Пуццолана, впервые примененная в третьем или в начале второго столетия до н. э. в Путолах (близ Неаполя), позволила древним римлянам стать величайшими портовыми строителями в Средиземноморье. Пирсы Коссы являются самыми ранними из известных примеров такой технологии.

К пирсам вел единственный входной канал от восточной оконечности главного волнореза. Глубина канала составляла примерно 6 м, что было достаточно для прохождения древнеримского торгового судна длиной 20 м. Такие корабли могли становиться на якорь в защищенном месте, судна же меньших размеров швартовались к волнорезу, пирсам или вытаскивались на берег. Заполняемые водой доки, вероятно, примыкали к волнорезу или отмели. Для загрузки и



СОВРЕМЕННЫЙ ВИД ГАВАНИ КОССА. Существование известнякового мыса, защищавшего гавань и служившего навигационной вехой, было одной из причин того, что древ-

ние римляне основали здесь колонию Косса в 273 г. до н. э. На переднем плане видны остатки бетонных пирсов, построенных древнеримскими инженерами.

разгрузки судов использовались баржи и небольшие лодки. Кроме того, для разгрузки кораблей, пришвартованных к пирсам, возможно, применялись устройства наподобие подъемных кранов. Небольшие лодки, стоявшие на якорю на мелководье, разгружались и загружались людьми, добравшимися до них вброд и переносившими амфоры на плечах.

Мы привыкли к тому, что почти в каждой гавани имеется маяк, однако в период расцвета Коссы маяк был относительным новшеством. изобре-

тенный в Александрии в 3 в. до н. э., он стал обычным элементом римских гаваней. Ничто не свидетельствует о том, что порт Косса имел маяк в первые годы своего существования, однако нами были обнаружены остатки маяка, действовавшего в порту в период его расцвета. Модель маяка, изготовленная из терракоты, обнаружена в Вулчи и датируется концом второго — первой половиной первого столетия до н. э. Паола Занцани Монтуро из Неаполя определяет его как модель маяка Коссы. По ее подсче-

там он имел высоту 30 м и находился на квадратном основании со стороны 5 м. Вполне вероятно, что маяк был сооружен на пирсе 5, построенном в восточной оконечности волнореза и в настоящее время скрытом под водой.

Этот портовый комплекс, слишком крупный для частного пользования, был, несомненно, предназначен для коммерческих целей. Не было обнаружено ни одной надписи, свидетельствующей о том, кто построил этот комплекс, управлял им и разбогател на нем. Фрагменты амфор, обнаруженные в большом количестве при раскопках, позволяют все же получить кое-какую информацию. На древнеримских амфорах зачастую стоял штамп производителя, поэтому изучая эти фрагменты, можно многое узнать о том, кто управлял торговлей в Коссе. Был составлен каталог примерно 1000 фрагментов амфор, тщательно исследованных Элизабет Лидинг Уилл из Массачусетского университета в Амхерсте. Результаты ее работы позволяют сделать некоторые выводы о том, насколько велика была роль семьи Сестиев в Коссе в период его коммерческого расцвета: 86% амфорных штампов, найденных в порте, являются штампами Сестиев.

Амфоры, фрагменты которых обнаружены в ходе раскопок, были главными транспортировочными сосудами античных времен. Форма амфор обусловлена необходимостью хранить и транспортировать большие количества жидкостей, фруктов и других пищевых продуктов в сосудах, которые мог бы переносить один человек. Вероятно, Сестии владели в Коссе мастерскими для изготовления таких сосудов. Минералогический анализ (выполненный Раффаэлло Триджилой из Римского университета и Джелль З. де Боер из Уэслианского университета) грубой красной глины амфор Сестиев показывает, что глина была добыта в Коссе. Хотя остатки мастерских по производству амфор не были найдены, они, видимо, находились на песчаном участке за гаванью.

КОССА, где находились амфорные мастерские, была, несомненно, родным городом Сестиев. Оттуда их продукция отправлялась во многие районы: фрагменты амфор со штампом Сестиев найдены более чем в 30 пунктах Западного Средиземноморья, а также на Агоре Афин. Первоначально главным экспортным продуктом Сестиев было вино. Об этом свидетельствуют надписи, сде-



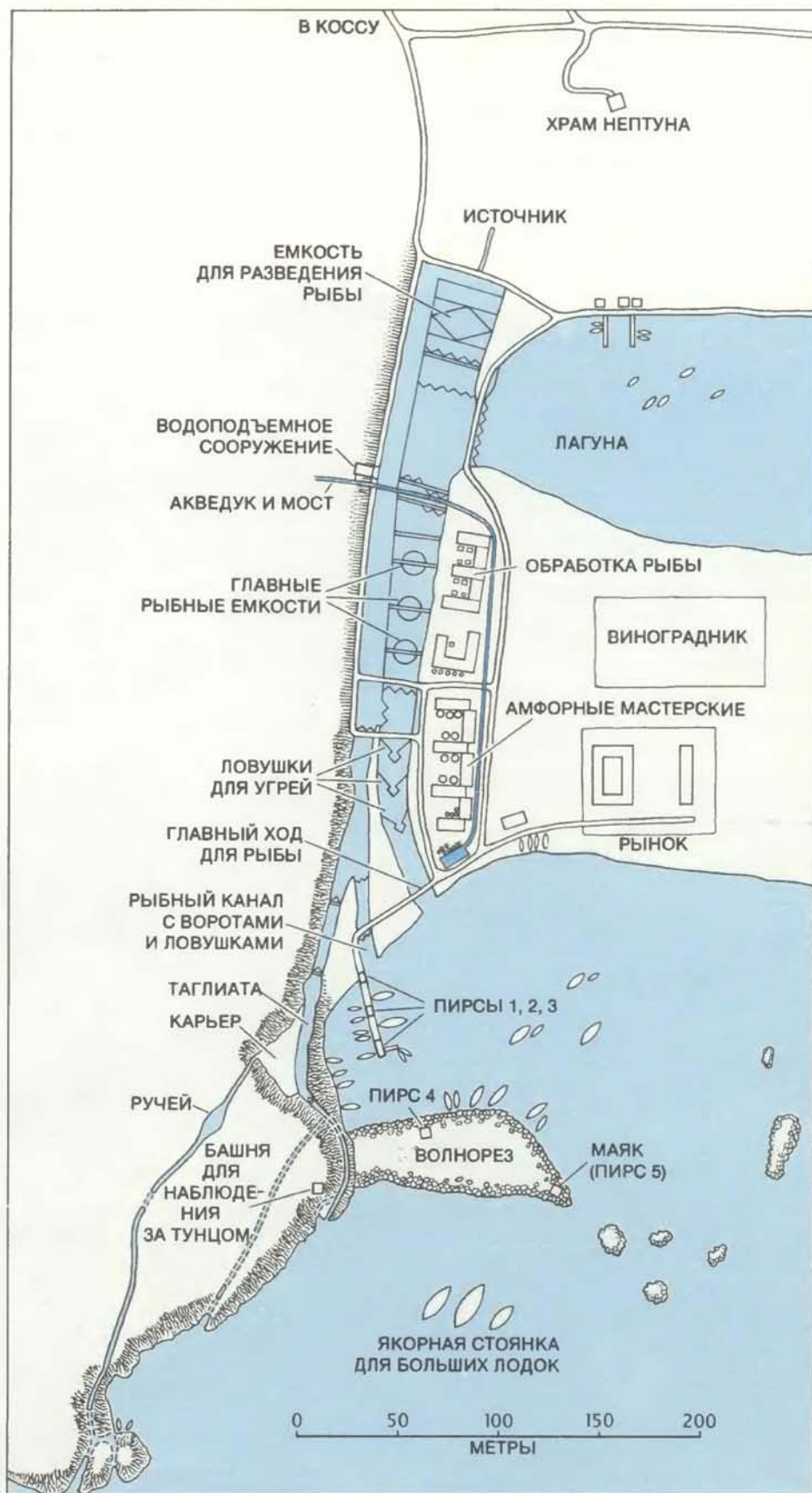
ПОРТ КОССА был экономическим центром римской колонии, протянувшейся на 30 км вдоль песчаного западного побережья Италии (вверху). Колония состояла из небольшого укрепленного города Косса, в котором жило около 1000 жителей, и близлежащего порта Геркулес. В 30 исторических местах Западного Средиземноморья (черные точки на нижней карте) были найдены амфоры со штампами семьи Сестиев, правившей Коссой на протяжении более двух столетий. Большинство этих мест находится в Галлии, Франция.

ланные краской на амфорах. Римский государственный деятель Цицерон пишет, что кроме кораблей Сестии владели в Коссе виллой, имевшей, вероятно, виноградник. Возможно, они производили столовое вино, которое вывозили в Западное Средиземноморье, в частности в Галлию. Возвращаясь, купцы привозили металлы и рабов для работы в мастерских Сестиев.

К наиболее известным пунктам, в которых были обнаружены амфоры со штампом Сестиев, относится Гран-Конлюэ, каменистый остров у побережья Франции близ Марселя, где потерпели крушение два римских торговых судна. Доступное для исследований судно, изученное Жаком Ивом Кусто, затонуло примерно в 100 г. до н. э. — т. е. в период коммерческого расцвета Коссы. Его груз состоял из 1200 винных амфор Сестиев, которые могли быть произведены только в мастерской, подобной той, что, вероятно, существовала в Коссе. Хотя это судно было обнаружено в 1952 г., можно было только догадываться, из какого порта оно отправилось в плавание. Сейчас кажется вполне очевидным, что судно вышло в море из порта, где жила Сестия.

Амфоры, обнаруженные на судне, затонувшем близ Гран-Конлюэ, свидетельствуют о том, что, стремясь завоевать рынок, Сестии разработали технологию массового производства. Большинство из этих 1200 амфор однотипны; этот тип получил обозначение Will Type 4a. Амфоры были высотой около 1 м и вмещали примерно 26 л вина. Они имели высокое горлышко, длинные вертикальные ручки и узкое основание, чтобы быть удобными для транспортировки и вместе с тем вмещать большое количество вина. К концу II в. до н. э. этот тип амфор стал преобладающим: вместе с похожим типом, обозначенным Will Type 4b, они составили примерно 70% материала, обнаруженного в порту. Амфоры Will Type 4a были наиболее распространенными в Риме винными сосудами в республиканский период.

Если методы массового производства и монополии присущи современности, то то же самое можно сказать и о другом аспекте предприятий Сестиев в Коссе: диверсификации. Выгодно торгуя вином, эти купцы, очевидно, также производили рыбную продукцию на промышленной основе. Древний географ Страбон свидетельствует о том, что в конце I в. до н. э. в Коссе существовало предприятие по разведению и переработке рыбы. Страбон пишет, что на мысе име-



ПОРТ В ПЕРИОД СВОЕГО РАСЦВЕТА представлял собой промышленный комплекс для производства, погрузки и транспортировки двух главных продуктов — вина и обработанной рыбы. Рыба, пойманная в лагуне за портом, сушилась или засаливалась. Вино изготавливали на винодельне вблизи гавани. Оба продукта переправлялись в амфорах, изготовленных в Коссе. Гавань имела пять пирсов и волнорез, на котором находился маяк высотой 30 м. Она была связана с лагуной искусственными и естественными каналами.

лась башня для наблюдения за голубым тунцом; на побережье Тирренского моря он отмечает только три таких сооружения. Ежегодную миграцию крупной рыбы в восточном направлении, длившуюся с мая по октябрь, с нетерпением ожидали, и там, где стояла башня, должно быть, находился комплекс по переработке рыбы.

О том, как обрабатывали улов, пока ничего не известно. Остатки мастерской по обработке или засолке рыбы не были найдены. Однако обнаруженные нами остатки рыбной фермы в прилегающей лагуне свидетельствуют о том, что в I в. до н. э. Косса действительно была местом промышленной обработки рыбы. В западной оконечности лагуны были найдены бетонные резервуары для содержания рыбы длиной более 100 м и площадью примерно 1 га. В настоящее время лагуна сильно заилена, однако в древности она протянулась более чем на 25 км на восток. По оценкам Джоан Бурже из Вашингтонского университета во времена Древнего Рима ширина лагуны составляла примерно 800 м в ее самой широкой ча-

сти, а глубина — около 5 м. Такие прибрежные барьерные лагуны существуют в Италии только близ Венеции, и даже сегодня они являются богатейшими природными ресурсами Италии. Современное предприятие по разведению рыб в лагунах существует сегодня близ города Орбетелло, неподалеку от Коссы.

МЕЛКОВОДНАЯ лагуна с соленой водой изобиловала растительностью, поддерживавшей богатое разнообразие морского мира. С незначительной модификацией она могла быть превращена в промышленный комплекс для разведения рыбы. Одна из наиболее важных задач заключалась в том, чтобы обеспечить непрерывную циркуляцию воды для поддержания необходимой температуры, уровня кислорода и солености. В начале колониального периода жители Коссы, вероятно, использовали природные каналы, пересекавшие длинный песчаный барьер, отделявший море от лагуны. Еще более благоприятные условия для разведения рыбы обеспечивал сам известняковый

мыс, в котором находилось множество природных разломов и пресноводных ручьев. Разломы можно было расширить, соединив тем самым море с лагуной.

Один разлом, или канал, названный Таглиатой, был приспособлен специально для ловли рыбы. Этот извилистый канал, проходивший частично через коренную породу, имел общую протяженность 150 м и вел к южной части лагуны. В его обращенной к морю части находились шлюзы для поддержания необходимого потока воды, а также чтобы служить в качестве емкости для ловли рыбы, заплывающей в каменистые проходы в поисках пищи. В засушливое время года или во время приливов через Таглиату в лагуну поступала вместе с рыбой холодная морская вода. Дождевой весной и зимой, когда вода в лагуне стояла высоко, ее избыток утекал через канал в море. Таким способом римские инженеры могли держать рыбу в больших бетонных емкостях, что позволяло получать около 150 тыс. кг рыбы в год.

Что представляла собой рыба,



ОСТАТКИ БЕТОННОГО ПИРСА, возраст которых составляет почти 2000 лет. Связующим элементом бетона служил вулканический пепел (пуццолана). Смешанный с известью и водой бетон был устойчив к действию как соленой, так и

пресной воды. В верхнем слое пуццолана смешана с известью и осколками амфор. В нижнем слое раствор смешан с туфом, вулканической породой. Отверстия оставлены опалубкой, в которую заливали раствор.

можно судить по видам, которые выводятся на современной рыбной фабрике в Орбетелло. Различные представители угревых составляют около 50% улова. Угри поднимаются весной и опускаются осенью и ранней зимой с тем, чтобы метать икру только раз в глубокой воде. Как и в античные времена их сегодня ловят с помощью специальных ловушек, устанавливаемых вдоль границы между лагуной и морем. Другими видами, приспособленными к соленой воде, являются кефаль, морской окунь и длинная камбала. Кефаль особенно ценилась древними римлянами, крупная рыба стоила очень дорого, а из ее печени готовили особый рыбный соус.

Часть этого улова потребляли местные жители из порта, города или близлежащих ферм. Некоторую его часть грузили на специальные суда, оборудованные глубокими колодцами для содержания живой рыбы. В условиях, когда не существовало холодильных установок, самую большую часть улова, вероятно, засаливали или вялили (рыба, обработанная таким образом, была основой рациона древних римлян). Наиболее известным и выгодным из всех рыбных продуктов был соус, называемый гарум. Получаемый из внутренностей рыбы, оставленных бродить на солнце, гарум обычно был побочным продуктом. Хотя его иногда употребляли как спиртное, он в основном использовался как острый соус и обычно подавался к столу. В своей известной кулинарной книге древнеримский кулинар Апикус сообщает о более чем 350 рецептах с использованием гарума.

ГАРУМ пользовался большим спросом и его выгодно было производить. Историк Плиний Старший отмечает, что амфора особой разновидности гарума ценилась в 10 раз больше, чем амфора самого лучшего вина. Поэтому неудивительно, что Сестии занимались также производством этого продукта. Уилл выделила две формы амфор, относящихся к концу второго — началу первого столетий до н. э., предназначенных специально для гарума. Возможно также, что некоторые из сосудов, которые, как считалось, предназначались для вина, на самом деле использовались для дорогого рыбного соуса. В любом случае свидетельства, обнаруженные в Коссе, поразительны, поскольку считалось, что до I в. н. э. гарум не экспортировался из Италии, а впоследствии его экспорт был незначительным.

Хотя логично предположить, что Сестии действительно владели круп-

АМФОРЫ СЕСТИЕВ, обозначенные как Will Type 4a, были наиболее распространены в Коссе. Амфоры имели высоту около 1 м и емкость 26 литров и обычно наполнялись вином. Как и другие амфоры Сестиев, этот тип маркировался одним из их штампов (справа): «SES» с небольшим трезубцем рядом, символом Нептуна. Нептун был не только богом морей и рек, но также и покровителем порта. Эта амфора была найдена в городе Косса.



ным комплексом по переработке рыбы, следует иметь в виду, что письменные свидетельства этого отсутствуют. Археологический материал, однако, говорит о большом влиянии Сестиев, особенно в период расцвета порта. Сестии использовали символ маяка на одном из штампов, которыми они маркировали амфоры. На большинстве других их штампов имеется символ Нептуна (трезубец), изображение руля корабля, якоря, рыболовного крючка, рыбьего позвоночника и пальмовой ветви. Нептун — бог морей и рек — был также покровителем порта: его храм находился на возвышении за лагуной. Возможно, что, когда Косса стал муниципием (городом с правом самоуправления жителей) в 90 г. до н. э., Сестии получили от горожан право основать предприятие по обработке рыбы и право на владение лагуной.

Каковы бы ни были правовые установления на управление рыбным промыслом, одной из его наиболее важных сторон было обеспечение производств пресной водой. Как уже говорилось выше, порт имел несколько источников, но, для того чтобы вода получила промышленное применение, ее необходимо было подавать туда, где выполнялись ежедневные технологические операции. С этой целью жители Коссы построили водоподъемное сооружение непосредственно над источником (который обнаружен нами в ходе раскопок). Это уникальное сооружение, включавшее в себя механизм для подъема воды из источ-

ника в акведуку, использовалось в период экономического процветания порта. Впоследствии оно было восстановлено и использовано владельцами крупной виллы, построенной рядом. Наиболее важная находка была сделана нами там, где когда-то находился водоподъемный механизм. То были остатки деревянной машины, служившей для подъема воды.

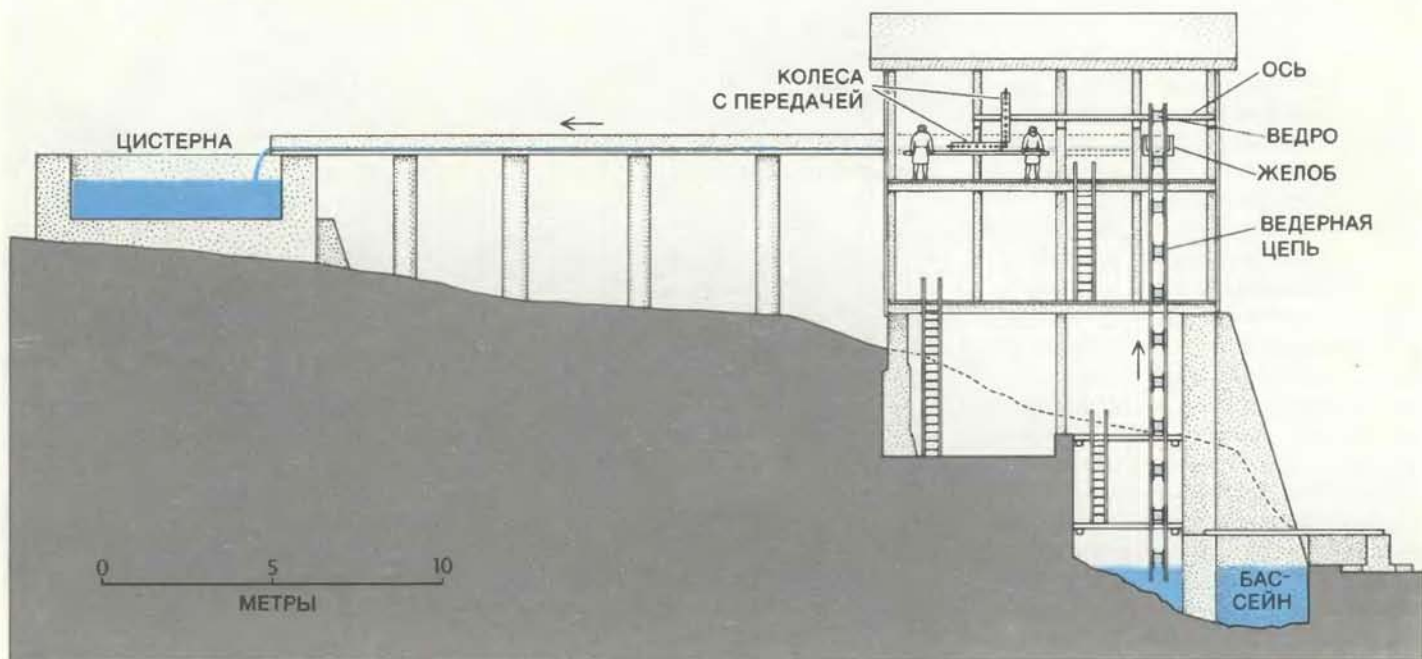
Первый период применения водоподъемного механизма относится к началу I в. до н. э., времени экономического расцвета порта. Первоначальная конструкция предназначалась для подъема пресной воды на 5 м над уровнем земли в резервуар, из которого она поступала по акведуку (в восточном направлении — через лагуну) к торговому участку и в порт. В конце I в. до н. э. водоподъемное сооружение было заброшено, и примерно через сто лет построено заново. Подъем воды производился уже на высоту 13 м. По акведуку вода стекала в западном направлении в большую цистерну.

Второй водоподъемный комплекс был разрушен пожаром примерно в 150 г. н. э. К счастью, детали его механизма упали в помещение над источником, где они пролежали в течение почти 2000 лет, до того как были обнаружены нами. Поскольку конструкция водоподъемного механизма, видимо, не изменилась существенно за 250 лет, по его остаткам можно понять, как осуществлялся подъем воды в первом и во втором периодах. Действие механизма изучал Джон П.

Олесон из Викторианского университета в Британской Колумбии, который произвел раскопки водоподъемного сооружения и восстановил части водоподъемного механизма.

В КОНСТРУКЦИИ этой машины использована пара деревянных зубчатых колес: одно — горизонтальное, а другое — вертикальное. Горизонтальное колесо, которое вращали с помощью бруса, приводило в движение вертикальное колесо. Последнее было связано через вал с третьим колесом, также вертикальным. Третье колесо, вращаясь, приводило в движение непрерывную цепь из ведер, в которых вода поднималась из источника и выливалась в желоб, расположенный непосредственно под колесом. Механизм этого типа, изобретенный в III в. до н. э., вероятно, в Египте в Александрии, в настоящее время можно встретить на Ближнем Востоке, где по-арабски он называется сакья. Остатки механизма, использовавшегося в Коссе, включая части семи ведер и колеса, с помощью которого двигалась ведерная цепь, являются самыми ранними археологическими свидетельствами механизма типа сакья.

Водоподъемное сооружение, в котором применялся этот механизм, располагалось над лагуной в три ступени. Бетонная платформа уходила в саму лагуну. К платформе примыкал бассейн, вмещавший более 17 тыс. литров воды, над которым была сооружена высокая конструкция, где раз-



ВОДОПОДЪЕМНОЕ СООРУЖЕНИЕ в Коссе имело механизм для подъема воды из источника. Механизм, вероятно, приводили в движение два раба, которые с помощью бруса поворачивали горизонтальное зубчатое колесо, приводив-

шее в движение вертикальное колесо. Последнее было связано осью с третьим колесом, которое поднимало канаты с 24 ведрами. Из ведер вода выливалась в желоб, по которому она стекала в цистерну.

мешался подъемный механизм. Ведерная цепь, по мнению Олесона, состояла из двух канатов, каждый длиной 27 м, к которым были привязаны 24 деревянных ведра, расположенных на одинаковом расстоянии друг от друга. Ведра, покрытые смолой внутри и снаружи, вмещали около 7 литров воды. Вода стекала по желобу в цистерну, откуда по свинцовым трубам она поступала на близлежащую виллу.

В большинстве современных систем сакия ведущее колесо вращают тягловые животные. Учитывая размеры водоподъемного сооружения в Коссе и трудность доступа в верхнюю часть конструкции, животные там не могли использоваться. Механизм приводили в движение люди. Эту работу выполняли, вероятно, рабы, преступники и пленники, по одному человеку с каждой стороны бруса, прикрепленного к колесу. По оценке Олесона, двум рабам требовалось около 45 часов, чтобы наполнить цистерну, вмещавшую 127 тыс. литров воды.

Остатки водоподъемного механизма в Коссе уникальны. Помимо того что это самый древний из обнаруженных механизмов такого типа, подъем воды с его помощью осуществлялся с уровня земли до более высокого уровня. Все другие механизмы, применявшиеся в античности, поднимали воду из подземных источников на поверхность земли. Кроме того, ведра являются единственным примером деревянных ведер, использовавшихся в античное время. Все другие обнаруженные ведра изготовлены из терракоты и датируются самое раннее III в. н. э.

К тому времени, когда было построено второе водоподъемное сооружение, приблизительно во второй половине I в. н. э., в порту произошли многие изменения. Он уже не был центром экспорта и промышленности и стал «посредником» в импорте предметов роскоши для зажиточных владельцев местных вилл. Торговые суда, моряки и трудовой люд исчезли вместе с шумом портового города. Вместо всего этого на побережье Коссы выросла большая вилла, которая, возможно, была собственностью императора. Принадлежала она ему или нет, несомненно одно, что она являлась предметом роскоши, и, вероятно, для того чтобы наполнять водой ее большую ванну (обычная деталь любой древнеримской виллы) водоподъемный механизм был перестроен.

уже отмечалось выше, заиливание является самой большой угрозой для любой гавани, и оно наиболее сильно вдоль песчаного побережья Тирренского моря. При раскопках в Коссе был обнаружен слой серого морского песка, заполнившего рыбный канал и попавшего в саму лагуна. По мнению Бурже, это произошло, возможно, в результате сильного шторма или приливной волны, забившей илом гавань и некоторые из каналов, от которых зависела лагуна. Такие события могли уменьшить коммерческую активность порта.

Кроме того, к началу императорского периода в 27 г. до н. э. значение порта Косса резко уменьшилось. Основу древнеримской торговли стал

составлять не экспорт, а импорт: зерно для увеличившегося населения Рима и предметы роскоши для императорского двора и аристократии. Такие товары проще было ввозить через порты, расположенные южнее, например Путеолы и Остия — имперский порт Рима. Порт Геркулес, не подвергшийся заиливанию, служил для сохранившихся местных перевозок. По этим и другим причинам к концу I в. до н. э. порт Косса стал тихой заводью, где через 75 лет появилась роскошная приморская вилла. Вот и все, что осталось до окончательного упадка Коссы, который (вместе с упадком римской империи) произошел в III в. н. э.

При изучении истории порта Косса



ДЕРЕВЯННОЕ ВЕДРО из водоподъемного сооружения в Коссе было реконструировано Джоном П. Олесоном из Викторианского университета в Британской Колумбии. В раскопках были найдены одно ведро из сосны и остатки еще шести ведер. Каждое ведро было высотой 54 см и вмещало 7 литров воды.

ПОЧЕМУ в порту произошли столь резкие изменения? Здесь можно отметить несколько факторов. Один из них — природный. Как

наибольшее впечатление оставляет время наивысшего подъема его коммерческой активности. Масштаб и вертикальная интеграция напоминают во многом более современные корпоративные структуры: товары, произведенные в порту, упаковывались там же и грузились теми же людьми, которые, вероятно, владели судами и управляли гаванью. Чтобы получить инфраструктуру этого предприятия были импортированы наиболее важные технологии того дня (в

частности, водоподъемный механизм). Если Сестии и не были непосредственно ответственны за эти изменения, то они по крайней мере играли в них большую роль. Хотя история древних портов остается еще ненаписанной, можно с уверенностью сказать, что в основе современной международной торговли лежит энергия людей, подобных Сестиям, благодаря деятельности которых появился порт Косса.

Наука и общество

Оптроды

В СОВРЕМЕННЫХ больницах для того чтобы взять у пациента кровь на анализ и отправить ее в лабораторию, уходит не менее 10 мин. В будущем же кровь у больных врачи смогут контролировать моментально и непрерывно с помощью мельчайших волоконно-оптических датчиков, называемых оптрдами, которые будут вводиться непосредственно в кровяное русло.

Обычно у оптрда на кончике имеется полость, покрытая флуоресцирующим красителем. Пучок света проходит по волокну через эту камеру и возвращается обратно. При контакте красителя с определенными агентами — веществами, обычно присутствующими в крови, лекарствами или патогенами, — характер флуоресценции изменяется и соответственно изменяется проходящий в обратном направлении световой пучок; эти изменения можно регистрировать с помощью спектрометра.

Дж. Петерсон из Национальных институтов здоровья, создавший в 1975 г. один из первых медико-биологических оптрдов — зонд для измерения pH, — указывает, что пока налажен выпуск только одного типа устройств с оптрдами и что для организации производства широкой номенклатуры экономически рентабельных оптрдных устройств потребуются провести еще немало исследований. «Но работа не стоит на месте», — заявил он. Волоконно-оптические датчики, как считает Петерсон, имеют ряд преимуществ по сравнению с вводимыми в живой организм электронными датчиками, которые также находятся в стадии разработки. В теплой, содержащей соли среде, какой является кровь, оптрды более стойки к коррозии, чем металлические электроды, они не требуют электрического питания и потому без-

опаснее и, кроме того, не подвержены влиянию электромагнитных полей, искажающих проходящие в них оптические сигналы.

Фирма Cardiovascular Devices, Inc. в Ирвине (шт. Калифорния) выпустила первое устройство на основе оптрда пять лет назад. Оно позволяет контролировать содержание углекислого газа и кислорода, а также pH и температуру среды, окружающей пациента, и крови, проходящей через искусственное сердце во время открытой операции на сердце. Сейчас фирма проводит клинические испытания устройства, которое контролирует состояние больного при интенсивной терапии с помощью оптрда, вводимого в кровяное русло в катетере.

Ряд компаний, в том числе Eli Lilly and Company и Abbott Laboratories, пытаются создать небольшое портативное устройство, которое с помощью катетера на протяжении длительных периодов времени могло бы контролировать содержание глюкозы в крови у больных диабетом. А. Потвин из фирмы Eli Lilly заявил, что разработчики надеются в конце концов создать оптрды, которые могли бы работать в комплексе с имплантированными устройствами подачи инсулина. Другим перспективным устройством, как говорит М. Энджел из Лоуренсовской национальной лаборатории в Ливерморе, будет аппарат, выполняющий так называемый иммунофлуоресцентный анализ. В простейшей его модели оптрд покрыт антителами, которые флуоресцируют при контакте с соответствующим антигеном.

Проверка вслепую

В США, где синдром приобретенного иммунного дефицита (СПИД) предъявил свои права уже на 30 тыс. жизней, не менее десятка коммерческих и государственных лабора-

торий заняты разработкой вакцины. Два вакцинных препарата получили от Управления по контролю качества пищевых продуктов, медикаментов и косметических средств (FDA) одобрение на клинические испытания, и в этих испытаниях вакцинации подверглись двадцать с лишним человек. В Заире, где в прошлом году Д. Загури из Парижского университета впервые вакцинировал людей против СПИДа, должны начаться широкомасштабные исследования, в которых будет проверено несколько сотен различных вакцин. Это необычайный прогресс, если учесть, что HIV — вирус, вызывающий иммунодефицит у человека, — открыт всего 4 года назад.

Тем не менее на последней конференции по СПИДу, которая проходила в Вашингтоне, царило, по общему мнению, весьма мрачное настроение. Попытки создать вакцину против СПИДа спотыкаются на том, что нет иного способа проверить, действительна ли вакцина, кроме как испытать ее напрямую на людях. Только человек болеет СПИДом. Шимпанзе заражаются, но пока ни у одного из зараженных животных заболевание не развилось. Без подходящего экспериментального животного в качестве модели об эффективности разработанных вакцин и характере их действия на человека остается только гадать.

Пока слишком многие аспекты инфекции HIV неизвестны, чтобы можно было предаваться оптимизму. Из-за изменчивости штаммов и высокой скорости мутирования HIV ускользает от преследования. До сих пор не существует ни одной вакцины против какого-нибудь ретровируса, к числу которых принадлежит HIV. Неизвестно, какие средства иммунной защиты организма следует активизировать, чтобы не дать вирусу вызвать заболевание.

Клинические испытания помогут прояснить хотя бы некоторые из этих туманных проблем. К сожалению, многое говорит о том, что проверка на больных людях сама по себе может оказаться наиболее проблематичной стадией в разработке вакцины. Речь в данном случае не о безопасности вакцинных препаратов: большинство их содержит лишь фрагменты HIV и потому не может вызвать заболевание, которое они предназначены предотвращать. Но идущие сейчас клинические испытания — это первые в США испытания вакцины, предпринятые без предварительных доказательств ее эффективности. Ближайшим фактическим указанием на характер действия вакцины являются экспериментальные данные, полученные в опытах на шимпанзе. Как правило, у вакцинированных обезьян образуются

антитела, которые нейтрализуют HIV «в пробирке», но когда этим животным инъецируют вирус, они заражаются.

Поскольку нужда в модельном объекте становится все более острой, научные учреждения усиленно ищут новые пути. Некоторые исследователи полагают, что можно путем генетической инженерии придать мышам способность болеть СПИДом. Другие пытаются найти ключ к механизму иммунитета путем изучения вирусов, аналогичных HIV — вируса иммунодефицита обезьян, вируса лейкоза кошек.

Тем временем в FDA копят заявки на проведение клинических испытаний экспериментальных вакцин, что заставляет принимать решения, не ожидая появления идеальной модели. Проблемы возникают уже на первой фазе клинических испытаний, на которой определяется безопасность вакцины и ее иммуногенность (т. е. интенсивность иммунного ответа на нее) при разных дозах препарата. На ком в первую очередь следует проверять вакцину? Какие критерии должны быть установлены в отношении половой жизни испытуемых? Как быть с тем обстоятельством, что у вакцинированного индивида при проверке на СПИД с помощью антител к HIV будет положительная реакция со всеми вытекающими из этого социальными последствиями для данного человека?

Прецедент решения всех этих вопросов возник в августе прошлого года, когда впервые было дано одобрение на клинические испытания вакцины, разработанной фирмой MicroGeneSys, Inc. в Уэст-Хейвене, шт. Коннектикут. В этих испытаниях, которые проводились Национальным институтом аллергии и инфекционных заболеваний, участвовал 81 мужчина — 78 гомосексуалистов и трое, ведущих обычную половую жизнь; у всех них была отрицательная реакция при проверке крови антителами к HIV, и эти люди относились к группе низкого риска в отношении СПИДа. Добровольцев причисляли к группе низкого риска, если на протяжении предшествующих трех месяцев они не имели возможности заразиться HIV. Испытуемых просили в течение срока испытаний, которые продлятся 6 — 12 месяцев, не предпринимать в своей половой жизни действий, сопряженных с опасностью заражения СПИДом. Хотя по иммунологическим свойствам можно отличить индивида, вакцинированного против СПИДа, от человека, зараженного вирусом, участники испытаний получают карточки, удостоверяющие, что у них положительная реакция крови

на антитела к HIV обусловлена вакциной. В этом году такие же испытания проведут сотрудники Медицинской школы Вашингтонского университета с вакциной, созданной в фирме OpcoGen в Сиэтле.

Даже на этой ранней стадии работы Институт аллергии и инфекционных заболеваний испытывал значительные трудности с набором добровольцев. К середине декабря прошлого года, через 3 месяца после того как по всей стране было объявлено о наборе добровольцев для готовящихся испытаний и проведено несколько сотен опросов, удалось найти менее 30 приемлемых кандидатов. Это и неудивительно: в отличие от клинических испытаний тех лекарственных препаратов или вакцин, эффективность которых может быть продемонстрирована, в случае СПИДа испытуемый смертельно рискует и ничего не выигрывает. «С самого начала было ясно, что этика не позволяет просить здоровых людей участвовать в испытаниях по каким-либо иным мотивам, кроме служения человечеству или высоким идеалам», — говорит профессор педиатрии в Медицинской школе Университета Д. Карзон, который ведет большую работу в государственном центре по испытанию вакцин. «Мы не знаем, дает ли вакцинация человеку хоть какое-нибудь преимущество».

Эта ситуация, может быть, изменится, если результаты первой фазы испытаний окажутся обнадеживающими. Для второй фазы испытаний, на которой будет проведен углубленный анализ иммуногенности и дозировки, понадобится еще примерно 100 человек. В отношении иммуногенности неясно, однако, какие результаты следует расценивать как обнадеживающие, поскольку неизвестно, что важнее в защите от HIV — образование антител или активация клеток иммунной системы.

На третьей фазе испытания вакцины возникнут новые дилеммы. На этом этапе главный вопрос — эффективность вакцины. Защитит ли она человека — мужчину или женщину, гомосексуалиста или нет, взрослого или ребенка, зараженного или незараженного — от заболевания СПИДом. Третья фаза клинических испытаний вакцины обычно охватывает несколько тысяч испытуемых и продолжается несколько лет. Откуда взять столько добровольцев, если с трудом было набрано 80 человек? По мере того как будут появляться новые вакцинные препараты, резерв потенциальных испытуемых будет истощаться все быстрее. В конце концов придется привлекать к испытаниям не только гомосексуалистов, но и лю-

дей, ведущих обычную половую жизнь, и тогда требования статистической значимости станет очень трудно удовлетворить, так как заболеваемость и зараженность этой части населения низкие. Систематические обследования некоторых групп населения, таких, как новобранцы и жены гемофиликов, выявили, что в них зараженность HIV необычайно высокая; это можно использовать для третьей фазы испытаний.

Неопределенность латентного периода инфекции HIV — дополнительное затруднение для третьей фазы испытаний. Если после вакцинации человек заражается вирусом, но не заболевает, вообще можно сказать, что вакцина обеспечила защиту. Но известно, что без всякой вакцинации человек может годами носить в себе HIV, а потом вдруг непонятно почему становится жертвой СПИДа.

Правительство США, отдавая себе отчет в серьезности ситуации со СПИДом, с каждым годом все более щедро отпускает средства на исследования, направленные на разработку вакцины: в 1987 г. на это был выделен 31 млн. долл., что в 10 раз больше, чем ассигнования в 1984 г. В нынешнем году Национальный институт аллергии и инфекционных заболеваний планирует организовать 5 — 7 исследовательских групп, которые должны заниматься разработкой вакцин, и устроить хранилище для культур клеток и препаратов вируса, нужных в таких исследованиях. Эти шаги, возможно, будут способствовать пониманию механизма воздействия HIV на иммунную систему человека, но они не касаются проблемы экспериментальной модели или вопроса об адекватном контроле в процедуре клинических испытаний.

Первый ожидающий одобрения вакцинный препарат, созданный в фирме MicroGeneSys, будет готов для проверки эффективности через два года. Вероятно, постепенно подоспеют и другие препараты. Однако практическое применение вакцины в широком масштабе может задержаться, если к тому времени научная общественность не достигнет согласия в вопросе о протоколе испытаний по проверке эффективности вакцинных препаратов. Даже по самым оптимистичным оценкам вакцина против СПИДа станет общедоступной не ранее середины 90-х годов, когда миллионы американцев падут жертвой этой страшной болезни. Задержка здесь поистине смертоносна, но и поспешность повлечет за собой ужасные последствия. Раз уж нет возможности вести испытания вакцины на животных, роль морской свинки придется, видно, сыграть самому человеку.

Наука вокруг нас

Как следует пускать шар при игре в кегли?



ДЖИРЛ УОЛКЕР

В КЕГЕЛЬБАНЕ игрок пускает тяжелый шар по длинной, узкой дорожке, стараясь сбить кегли, выстроенные в виде треугольника. Шар сбивает часть из 10 кеглей, которые в свою очередь либо непосредственно, либо после отскока от боковых или от задней стенок дорожки опрокидывают другие кегли. За каждую сбитую кеглю начисляется 1 очко. В том случае, если вы сбили сразу все кегли, говорят, что игра закончилась страйком; при этом вы получаете 10 очков и возможность сыграть еще. Всего за один круг можно выиграть таким образом 30 очков. Если же первый бросок не был столь удачным, то вам предоставляется всего одна попытка, чтобы сбить оставшиеся кегли. Понятно, что следует пытаться в каждом круге сбить все кегли с первого броска.

Как нужно бросать шар, чтобы увеличить вероятность страйка? Многие новички пускают его по осевой линии дорожки, метаясь в переднюю кеглю. Такой бросок не всегда бывает удачным, поскольку попасть в переднюю кеглю на большом расстоянии и тем более предугадать дальнейшее поведение кеглей сложно. Опытный игрок часто выбирает более надежную стратегию, пуская шар ближе к краю дорожки. Мишенями для такого броска служат не кегли, а метки, находящиеся на расстоянии 4,5 м на дорожке. Кроме того, в момент броска

шару придается вращение в горизонтальной плоскости (назовем это боковое вращением). При этом сначала шар движется вдоль края дорожки, а затем резко заворачивает к передней кегле, подкатывая к ней, как видится игроку, под большим углом. Целью при таком ударе служит правая либо левая сторона передней кегли, называемая карманом.

Опытные игроки в один голос утверждают, что боковое вращение шара увеличивает вероятность страйка. Возможно, они правы. Однако эта игра подвержена стольким случайностям, что проверить их утверждение опытным путем очень трудно. Вместо этого я попытался проверить его, проделав теоретический анализ некоторых аспектов игры. Почему боковое вращение шара приводит к искривлению его траектории? Действительно ли шар резко изменяет направление движения в определенной точке пути? Почему подкатывание шара к кеглям под углом повышает вероятность страйка? На самом ли деле угол подкатывания должен быть достаточно большим, как это утверждают некоторые игроки?

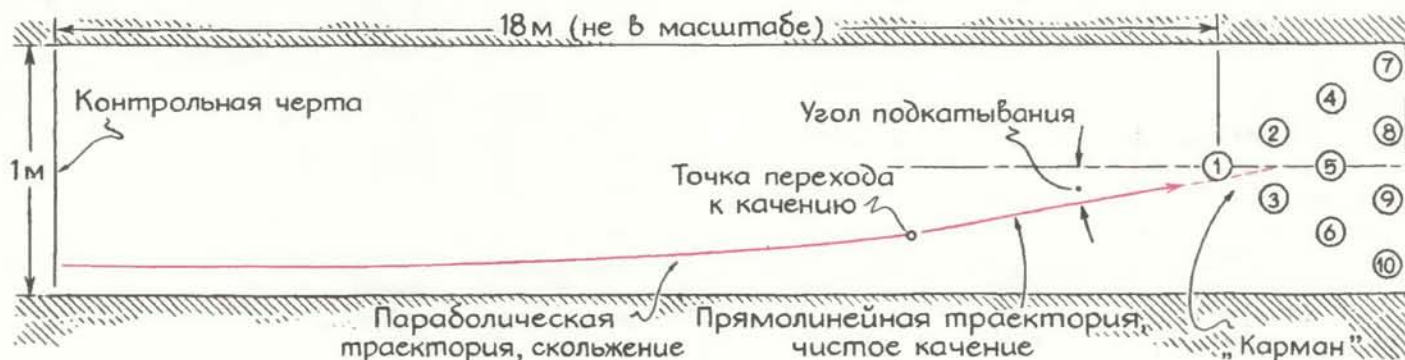
В начале дорожки проведена контрольная черта, которую игрок не должен переступать во время броска. Передняя кегля находится в 18 м от этой черты. Деревянные кегли высотой около 40 см и весом не более 1,7 кг пронумерованы в соответствии

с их положением, причем передняя кегля имеет номер 1. Расстояние между центрами двух соседних кеглей составляет 30 см. В горизонтальном сечении кегля представляется кругами, наибольший из которых имеет диаметр 12 см.

Шар может весить до 7,2 кг и достигает 22 см в диаметре. Обычно в нем делаются три отверстия для пальцев игрока. (Распределение массы внутри шара компенсирует потерю веса, обусловленную отверстиями.) Снаружи шар покрыт пластиком или твердой резиной. Для того чтобы выполнить бросок, вы отводите руку с шаром назад, затем, быстро подбегая к контрольной черте, начинаете выносить шар вперед (он движется подобно маятнику). Около контрольной черты вы пригибаетесь и скользите по полу (одна нога вытянута назад, так что шар находится очень низко над полом). Когда шар опускается в самую нижнюю точку траектории маятника, вы бросаете его.

Дорожка кегельбана, сделанная из узких деревянных досок, имеет в ширину около 1 м и ограничена по краям канавками. Часть дорожки обработана маслянистым веществом, поэтому в начале пути шар скорее скользит, чем катится. В различных кегельбанах промасленный участок может быть различной длины (например, в одну треть дорожки).

В 1977 г. Д. Хопкинс и Дж. Паттерсон из Школы горнодобычи и технологии шт. Южная Дакота впервые исследовали математически траекторию движения шара. Я воспользуюсь упрощенным вариантом их анализа и при этом ограничусь случаем праворукого игрока, пускающего шар по правому краю дорожки. Благодаря резкому движению руки в момент броска шару придается боковое вращение против часовой стрелки. Когда шар скользит по деревянному настилу дорожки, на него действуют две силы трения. Одна препятствует поступательному движению шара, другая противодействует вращению.



Дорожка кегельбана и траектория шара

Первая сила замедляет движение шара вперед, вторая уводит шар от канавки, вдоль которой он скользил вначале.

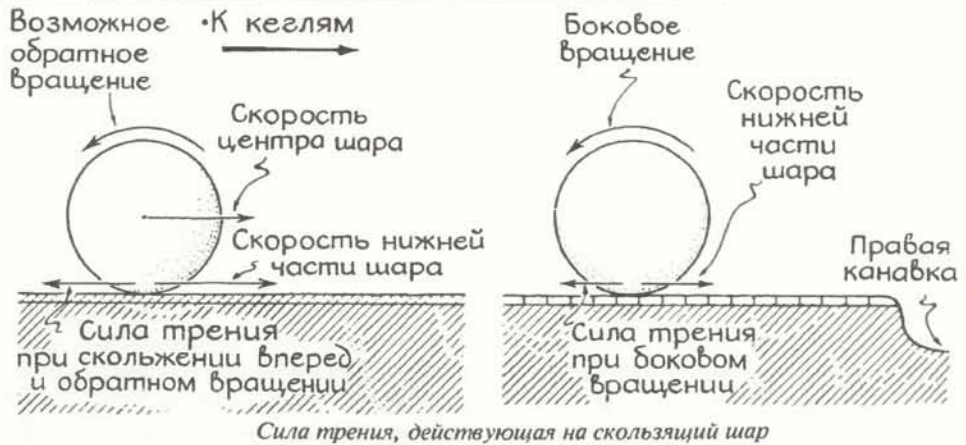
Посмотрим на движущийся шар со стороны канавки. Если шару придано вращение в вертикальной плоскости против направления движения, т. е. обратное вращение (как это умеют делать некоторые игроки), то нижняя часть шара движется вперед быстрее, чем его центр. Для того чтобы шар катился, скорость нижней точки шара в обратном направлении относительно его центра должна быть равна скорости поступательного движения его центра. При скольжении шара сила трения замедляет его поступательное движение, а также уменьшает скорость нижней точки шара относительно его центра, а затем изменяет ее направление. Когда эта скорость становится равной скорости центра, начинается качение.

Такое «взаимодействие» трения и скорости изменяет боковое вращение шара. Если смотреть на шар со стороны игрока, то его нижняя часть движется вправо, тогда как центр первоначально не движется ни вправо, ни влево. Сила трения, мешая вращению шара, замедляет его движение, одновременно заставляя центр смещаться влево. Когда скорость нижней точки шара, направленная вправо, сравняется со скоростью движения центра шара, направленной влево, шар начнет катиться.

Действующие на скользящий шар обе силы трения заставляют его отклоняться влево по параболической кривой, кривизна которой зависит от начальных значений скорости вращения и скорости поступательного движения. Так, кривизна параболы уменьшается при увеличении поступательной скорости или замедлении вращения шара. В тот момент, когда шар начинает катиться, он сходит с параболической траектории по касательной к ней и после этого продолжает движение по прямой линии.

Чтобы найти величину отклонения этой прямой (она равна углу подкатывания шара к кеглям), Д. Хопкинс и Дж. Паттерсон оценили поступательную и вращательную скорости, придаваемые шару в момент броска. Они также взяли для расчетов реальное значение коэффициента трения, характеризующего шероховатость поверхности и степень скольжения шара по дорожке. Все их расчеты давали для угла подкатывания значение, не превышающее 3° . Такая незначительная величина вряд ли может оправдать усилия, затрачиваемые на закручивание шара.

Я подумал, не оказалась ли расчи-



танная величина этого угла столь небольшой из-за того, что Хопкинс и Паттерсон приняли коэффициент трения одинаково малым на всем пути движения шара. Я «поиграл» уравнениями, надеясь найти подтверждение предположению, что «убрав» масло на трети пути к кеглям, можно получить больший угол подкатывания. Возможно, когда шар достигает «сухой» части дорожки, внезапное увеличение силы трения заставляет его подкатиться к кеглям под большим углом.

То, что я обнаружил, меня удивило: угол подкатывания не зависит от коэффициента трения, а определяется отношением скорости бокового вращения шара к его поступательной скорости в начальный момент. (Обратное вращение играет незначительную роль.) Когда боковое вращение медленное или поступательная скорость велика, угол очень мал. Если же скорость вращения велика, а поступательная скорость умеренна, угол может достигать 10° и даже более.

Хотя коэффициент трения не влияет на угол подкатывания шара, он определяет, на каком участке дорожки начнется его качение. Если коэффициент трения велик, шар довольно быстро покидает крутую параболическую траекторию и может закончить движение слева от «кармана». Если же коэффициент трения мал, то шар поздно покидает слабоискривленную параболическую траекторию и может проскочить справа от «кармана». (Если дорожка полностью обработана маслом, шар может достичь кеглей, так и не начав катиться.) Не случайно поэтому весьма важным при игре в кегли считается пустить шар с учетом коэффициента трения, характерного для данной дорожки. Этот навык отработывается во время тренировочных бросков, которые продолжают до тех пор, пока шар не поразит «карман» нужным образом. Задача осложняется тем, что при каждом броске шар переносит часть масла на су-

хую поверхность дорожки, изменяя тем самым ее коэффициент трения.

Если подумать, приведенные результаты не так уж удивительны; на самом деле они точно соответствуют советам опытных игроков. Если шар попадает в группу кеглей «низко» (с большим сдвигом вправо) или «высоко» (с большим сдвигом влево), вам следует откорректировать поступательную скорость и вращение шара, чтобы изменить угол подкатывания. Можно поступить по-другому, пуская шар правее или левее осевой линии за счет изменения места броска вдоль контрольной черты. Кроме того, вы можете бросить шар не прямо перед собой, а правее или левее, с тем чтобы повернуть траекторию шара относительно точки бросания.

Как объясняется утверждение игроков, что шар резко изменяет направление движения? Шар может резко закрутиться, когда после промасленного участка дорожки попадает на сухой. Резкое увеличение коэффициента трения приводит к увеличению кривизны параболической траектории; наблюдатель же воспринимает это как быстрое изменение направления движения шара влево. Однако угол подкатывания при этом не меняется; просто шар выходит на нужный угол раньше, чем в других случаях.

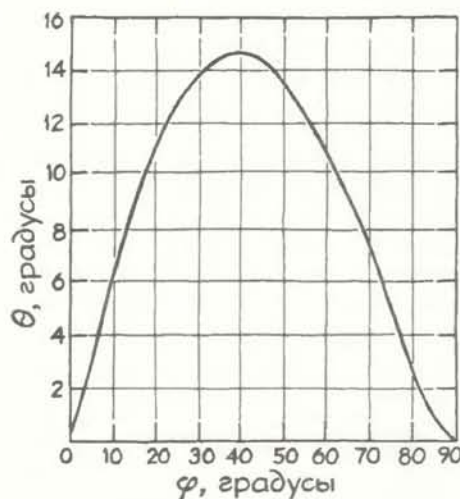
Если угол подкатывания у шара с боковым вращением не превышает 3° , увеличивает ли он вероятность страйка? Для того чтобы ответить на этот вопрос, я решил выяснить, как ведет себя шар после столкновения с передней кеглей. Сначала с помощью трафарета, имеющего круглые отверстия, я нарисовал в плане группу кеглей. Поскольку расстояние между центрами любых двух соседних кеглей равно 30 см, группа представляет собой равнобедренный треугольник с углами по 60° . Внутри группы кегли образуют подгруппы в виде меньших равнобедренных треугольников.

Чтобы упростить анализ столкновения, я предположил, что из-за крат-

ковременности удара шара о кеглю между ними не действует сила трения. (В определенных случаях, например при соударении шаров в бильярде, трение играет очень важную роль.) Я предположил также, что удар абсолютно упругий (кинетическая энергия не теряется) и что сохраняется полное количество движения. Образно говоря, я предположил, что столкновение шара с кеглей можно уподобить соударению большой хоккейной шайбы (шара) и маленькой (кегли), находящихся на идеально скользком льду. Шар на схеме был представлен кругом, имеющим в 2 раза больший диаметр, чем круг, соответствующий кегле (приведенный здесь рисунок выполнен в масштабе).

При анализе я обратил особое внимание на два угла (см. верхний рисунок слева на с. 85). Первый — угол подкатывания, т. е. угол сближения шара с кеглей. Второй я назвал углом касания; он определяет угловое положение точки касания шара и кегли I относительно ее центра. В момент удара на кеглю действует сила, направленная вдоль линии, соединяющей центры кегли и шара. Значит, кегля должна двигаться в направлении, определяемом углом касания.

После удара шар изменяет направление движения, которое не совпадает с направлением движения кегли. Угол отклонения (который я обозначил θ) зависит от угла φ между вектором начальной скорости шара и вектором скорости сбитой кегли. Кривая зависимости между θ и φ показана на рисунке внизу. При построении этой кривой, я предполагал, что шар в четыре раза тяжелее кегли. Заметим, что максимальный угол отклонения шара чуть больше 14° . За соударением двух кеглей проследить значительно легче. В момент удара вторая кегля (которая до этого находилась в покое)



Зависимость угла отклонения от угла касания

начинает двигаться вдоль линии, соединяющей центры этих кеглей, а первая отскакивает в направлении, перпендикулярном этой линии (за исключением случая лобового удара, когда первая кегля останавливается).

Вооруженный лекалом, диаграммой и пачкой фотокопий схемы, изображающей группу кеглей, я проанализировал, что происходит, когда шар сбивает кеглю I при разных углах подкатывания и касания. Если вы захотите провести такой анализ (либо на бумаге, как делал я, либо с помощью персонального компьютера), не забудьте, что полученные результаты будут приблизительными, так как в них не учтены многие реальные факторы. Например, если кегля после удара отскакивает вдоль дорожки, трение может изменить направление ее движения. Если во время движения кегля падает, то она может «сместить» кеглю на большом участке. Упавшая кегля может начать вращаться вокруг вертикальной оси, сбивая другие кегли. Кегля может также столкнуться с другой движущейся кеглей. Наконец, неизбежные погрешности чертежа приводят к тому, что расчетная траектория кегли становится неопределенной в случае соударения с более чем одной кеглей.

Для того чтобы проследить за движением шара через группу кеглей, нужно определить угол его отклонения после первого столкновения. Продолжая траекторию шара до встречи с кеглей 3, отметим его положение в момент соударения. Направление движения кегли определяется линией, соединяющей центры кегли и шара. Шар отскакивает от кегли, изменяя направление движения на угол отклонения θ . Чтобы найти θ из диаграммы, нужно измерить угол φ между направлением движения кегли после удара и траекторией шара непосредственно до удара. Затем нарисуем новую траекторию шара. Эту процедуру повторим для каждого соударения шара и кегли.

В руководствах по игре в кегли описывается один из вариантов страйка, при котором мяч сбивает только кегли 1, 3, 5 и 9. Кегля 1 дает начало последовательности лобовых соударений, при которых падают кегли 2, 4 и 7; в то же время кегля 3 сбивает кеглю 6, а та в свою очередь опрокидывает кеглю 10. Сбитая шаром кегля 5 падает на кеглю 8. Падение кеглей с левой стороны группы означает, что угол касания должен лежать в пределах от 20° до 40° , причем оптимальная его величина составляет 30° , так как линия, проходящая через левый ряд кеглей составляет угол 30° с прямым направлением. Я нашел, что при угле касания

от 20° до 40° кегля 1 после соударения с шаром отлетает со скоростью, в три раза большей скорости отскокшего шара.

Определив из этих соображений угол подкатывания, я проанализировал, как зависит от него поведение шара после столкновения с кеглей I. Такой анализ должен был показать, дает ли ненулевой угол подкатывания какие-либо преимущества. В противном случае пришлось бы сделать вывод о том, что либо закручивание шара при броске не имеет значения, либо при сильном соударении объектов необходимо учитывать даже небольшое трение (как, например, в бильярде).

Если угол подкатывания равен нулю, то после удара шар входит в правую часть группы при условии, что угол касания лежит между 20° и 25° . Если угол касания составляет 30° — 40° , то отклонение шара в результате столкновения с кеглями 1 и 3 настолько велико, что шар не может проникнуть в группу. Когда значение угла касания лежит между 35° и 40° , шар так резко уходит в сторону, что, по моим расчетам, выходит из группы, не коснувшись кегли 10, которая остается на месте. Игроки говорят, что шар выскакивает из правой стороны группы, будто последняя является стенкой. Таким образом, большое отклонение приносит только вред.

Предположим, что угол подкатывания равен 3° . Тогда при значениях угла касания между 20° и 40° шар проходит сквозь группу с правой стороны. Хотя величина угла подкатывания довольно близка к рассмотренной в предыдущем примере, результаты бросков могут разительно отличаться. Существенное преимущество бокового вращения, ведущего к подкатыванию под углом, заключается в том, что проникновение шара в глубь группы обеспечивается при любом угле касания, при котором левая сторона группы сбивается так, как описано в руководствах. При больших углах подкатывания шар проникает глубже. Если этот угол равен 10° , страйк точно соответствует примеру из книги. Чтобы добиться классического страйка, шар следует пускать с небольшой поступательной скоростью и быстрым боковым вращением, приспособив свой бросок к особенностям дорожки так, чтобы шар подкатывался к кегле 1 под углом 30° . Даже если вы немного ошибетесь, глубокое проникновение шара в группу и сложные взаимодействия кеглей, которыми я пренебрег при анализе, с большой вероятностью обеспечат страйк.

Если проследить за движением шара на бумаге, откроется еще одна при-

чина, по которой нельзя бросать шар по прямой линии вдоль дорожки. Если шар столкнется с кеглей 1 при нулевом угле касания, то кегли 7 и 10, по всей вероятности, останутся на месте, так как шар пройдет через центр группы. Сбить вторым ударом далеко отстоящие друг от друга кегли 7 и 10 практически нельзя, хотя некоторые другие сложные конфигурации оставшихся кеглей сбить все-таки можно. Допустим, стоять остались кегли 6, 7 и 10. Руководство по игре говорит, что шар должен попасть в кеглю 6 с правой стороны, чтобы она сбива кеглю 7, причем сам шар после этого сбивает кеглю 10. Действительно, я обнаружил, что при угле касания 70° с кеглей 6 кегля 7 сбивается навер-

няка. Удар по кегле 6 необязательно должен быть точным, если кегля, падая, заметает широкую полосу на своем пути.

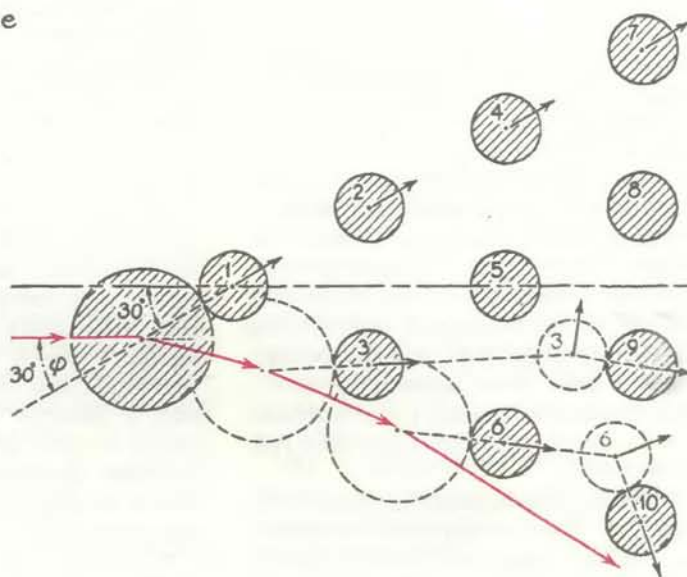
Материал для теоретического изучения игры в кегли весьма обширен. Вы можете исследовать так называемый вариант «шара-дублера», который «высоко» приближается к кегле 1, а затем возвращается назад в левый карман между кеглями 1 и 2. Существуют сотни конфигураций кеглей, остающихся после первого броска. Как правильно бросить шар, чтобы сбить все кегли в конкретной конфигурации?

Множество вопросов связано с движением шара. Например, сбив кеглю 1, шар сначала скользит по дорожке, а

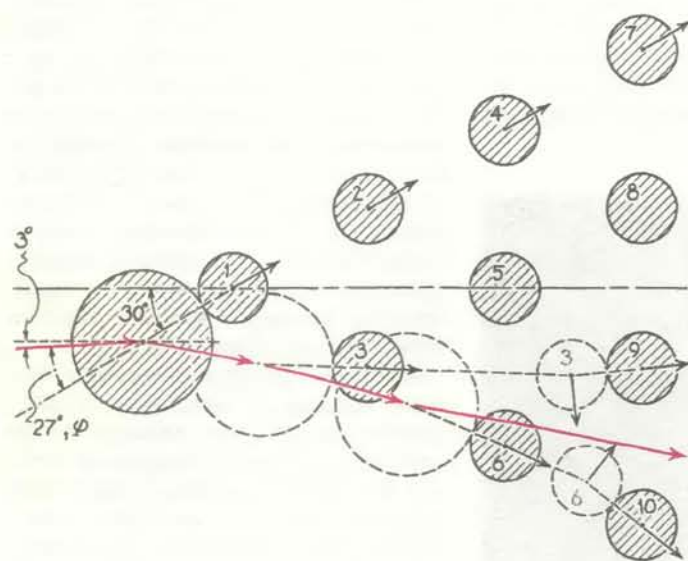
затем начинает катиться. В какой степени сила трения может изменить траекторию его движения во время скольжения? (Я предполагаю, что трение уменьшает угол отклонения.) Влияет ли на движение шара неравномерное распределение массы внутри его? Возможно, большая масса шара наделяет его свойствами гироскопа и препятствует изменению направления его движения. Теоретический подход к игре в кегли имеет, разумеется, ограниченные возможности из-за большого количества переменных, описывающих реальную игру. Тем не менее такой анализ полезен, поскольку он хотя бы в общих чертах помогает понять, почему шар и кегли ведут себя так, а не иначе.



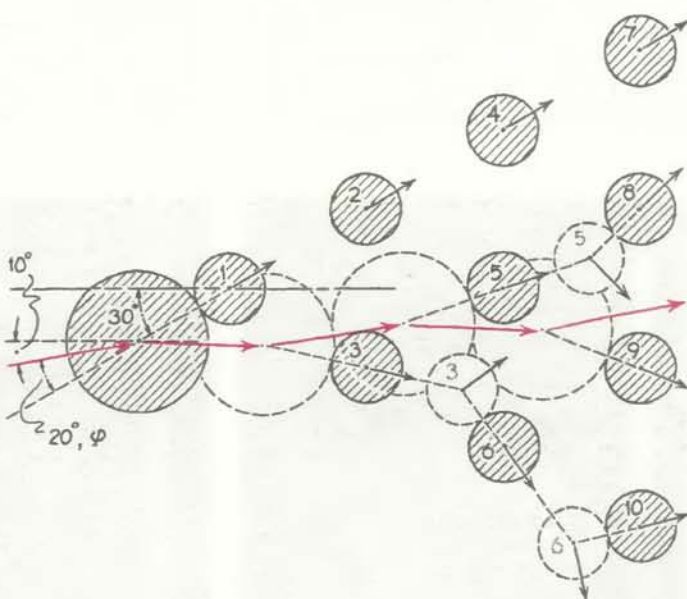
Столкновение шара с кеглей 1



Траектория шара при нулевом угле подкатывания



Траектория шара при угле подкатывания 3°



Траектория шара при угле подкатывания 10°

Занимательный компьютер

Моделирование поведения некоторых физических систем в домашней компьютерной лаборатории



А. К. ДЬЮДНИ

СОСУД, заполненный летающими во всех направлениях шариками и служивший ранее лишь воображаемой моделью физической среды, теперь можно наблюдать на экране домашнего компьютера. Приложив в общем-то совсем небольшие усилия к составлению программы, читатели смогут наблюдать за тем, как молекулярные столкновения создают давление в цилиндре или как в хаотическом движении красных и синих молекул происходит диффузионный процесс между двумя жидкостями. А те, кого не устрашает перспектива ядерного взрыва в их компьютере, могут даже поэкспериментировать с критическими массами нестабильного элемента, который я называю гридиумом.

Темой этой очередной статьи я обязан Дж. Блинну, научному сотруднику Лаборатории реактивного движения в Пасадине (шт. Калифорния). Блинн когда-то занимался разработкой компьютерных моделей различных физических систем. Его программы были записаны на довольно занимательной видеокассете с лаконичным названием «Механическая вселенная». Две модели Блинна привлекли мое внимание для описания в ру-

брике «Занимательный компьютер»: замечательные «мультипликации» цилиндра, наполненного газом, и камеры сгорания. В первом случае несколько десятков шариков прыгали, натываясь друг на друга и на стенки двумерного цилиндра, приводя подвешенный в цилиндре поршень в состояние «вибрирующего равновесия». Во второй модели шарик двух цветов совершают хаотическое движение в замкнутом сосуде. Первоначально на экране видны две области разного цвета, но затем по мере того как шарик совершают «броуновское» движение, цвета перемешиваются. Третья модель, которую мы рассмотрим в данной статье — ядерный взрыв, — это мое собственное изобретение. Его идея, наверное, объясняется безотчетным детским интересом к явлению взрыва.

За те несколько часов, которые вам придется потратить на создание рабочей версии программы, названной мной BOUNCE (прыг-скак), вы будете с лихвой вознаграждены забавным зрелищем на экране. В модели Блинна шарик отскакивали друг от друга и от стенок сосуда, но можно написать значительно более простую и столь же эффектную программу, в которой

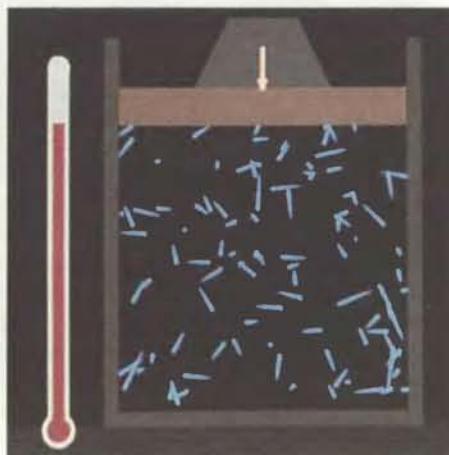
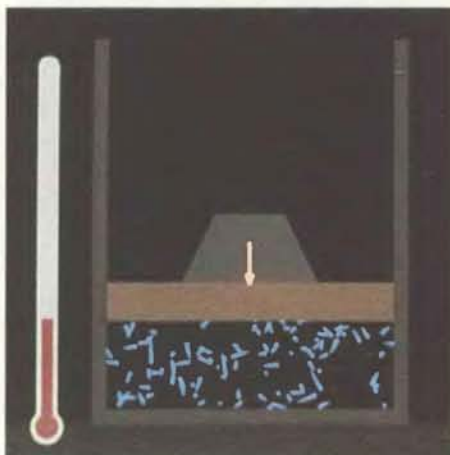
шарик, игнорируя друг друга, отскакивают только от стенок цилиндра.

Пользователь программы BOUNCE может сам выбрать значения таких параметров, как скорость шариков и их количество. Положение, принимаемое поршнем, соответствует закону состояния идеального газа: $PV = kT$, т. е. произведение давления данной массы газа на занимаемый им объем пропорционально его температуре. Когда пользователь указывает скорость движения молекул, он тем самым выбирает определенное значение температуры, а вес подвижного поршня задает давление. Каким тогда будет объем? Ответ вы сможете ясно увидеть на экране (см. рисунок внизу). Чем выше температура газа, тем выше поднимается поршень.

Полезно проследить сначала за движением какого-нибудь одного шарика. Рассмотрим замкнутый сосуд, изображенный в виде прямоугольника на экране компьютера. Пусть это будет квадрат со стороной 50 условных единиц и пусть в какой-то точке, принадлежащей этому квадрату, находится наш шарик. Поскольку мы имеем дело с плоской моделью, положение шарика должно быть задано двумя координатными значениями, скажем x и y . Его движение характеризуется двумя координатами скорости v_x и v_y . За короткий промежуток времени t шарик переместится из положения (x, y) в положение $(x + t \cdot v_x, y + t \cdot v_y)$.

Программа BOUNCE рисует изображенную цилиндра с поршнем также двумерное. У цилиндра три неподвижные стенки, определенные линиями $x = 0$, $x = 50$ и $y = 0$. Четвертую стенку представляет поршень. Ее уравнение $y = h$, где h — высота поршня в данный момент. Рано или поздно в программе, которая управляет системой движущихся шариков, придется рассмотреть вопрос, столкнется ли шарик с одной из стенок, и если столкнется, то когда. Программа BOUNCE сверяет направление движения шарика с каждым из четырех уравнений стенок цилиндра: в какой точке траектория движения шарика пересекает каждую из четырех линий? Ответы приведены в левой таблице нижнего рисунка на с. 88.

В каждом случае мы получаем значение времени t (отсчитанное от данного момента), через которое шарик столкнется с рассматриваемой стенкой. Координаты точки столкновения можно вычислить, подставив значение t в простые формулы, определяющие положение движущегося шарика. Если значение t получается отрицательным, это означает, что шарик, продолжая движение в том же направлении, никогда не натолкнется на



В модели Дж. Блинна объем газа увеличивается по мере повышения температуры

данную стенку, поскольку он движется в противоположном от нее направлении. Если значение t бесконечно велико, то одна из координатных составляющих скорости шарика должна быть равна 0. В этом случае шарик тоже никогда не столкнется с данной стенкой, и программа, конечно, не вычисляет значения t .

Первой стенкой, на которую натолкнется шарик, будет стенка с минимальным неотрицательным значением t . Полученным значением t можно воспользоваться, чтобы вычислить точку, в которой произойдет столкновение. Здесь нам пригодится небольшая табличка (см. правую половину нижнего рисунка на с. 88).

В большинстве программ, моделирующих поведение движущихся механических систем, используется один из двух возможных способов продвижения времени, или часового механизма модели. Если используется способ равномерного разбиения времени, то часы каждый раз продвигаются на короткий промежуток времени и положение всех компонентов системы равномерно изменяется. При использовании способа «критического события» часы продвигаются до того момента, когда происходит какое-то интересное явление. Читатели, наверное, помнят программу, моделирующую звездные скопления. Речь о ней шла в мартовском номере журнала за 1986 г. Там расположение всех звезд рассматриваемой системы изменялось с интервалом времени в несколько лет. В программе BOUNCE удобнее воспользоваться вторым приемом — ожиданием критического события, которое в данном случае происходит, когда шарик отскакивает при столкновении со стенкой.

При использовании подхода с ожиданием критического события очень важную роль играет массив *event* (событие). Если программа BOUNCE жонглирует n шариками, то она должна знать, какой из них следующим столкнется со стенкой. Поэтому массив на самом деле представляет собой очередь. Вот как действует программа:

1. получить значения *времени*, *шарика* и *стенки* из *event*(1) (соответственно *time*, *ball*, *wall*)
2. изменить положение объектов по значению *времени* (*time*)
3. определить следующее событие для *шарика* (*ball*)
4. подставить значения *шарика*, *времени* и *стенки* (соответственно *ball*, *time*, *wall*) в *event*
5. показать новое состояние системы на экране until нажатие клавиши

Этот цикл, состоящий из пяти шагов,

повторяется до тех пор, пока не будет нажата соответствующая клавиша. О том, как пользоваться клавишами для прерывания программы, мы говорили в статье, посвященной специальным видеоэффектам и опубликованной в февральском номере журнала за этот год.

Шаг 1 довольно прост. На самом деле очередь событий состоит из трех массивов. В массиве *event* (событие) хранятся значения временных интервалов от данного момента до следующих событий в их естественном порядке. В массиве *ball* (шарики) хранятся индексы тех шариков, которые соответствуют событиям массива *event*. Еще один массив, под названием *wall* (стенка), содержит в качестве своих элементов индекс стенки, соответствующей событию. Например, элемент *event* (2) содержит время до второго события, *ball* (2) содержит номер участвующего в этом событии шарика b , а *wall* (2) указывает номер стенки w , который может принимать одно из четырех значений: 1 ($x = 0$), 2 ($x = 50$), 3 ($y = 0$) или 4 ($y = h$). Таким образом, шаг 1 реализуется тремя инструкциями, присваивающими переменным t , b и w три соответствующих элемента информации.

На шаге 2 нужно изменить положение всех шариков, содержащихся в цилиндре. Это можно сделать при помощи цикла, имеющего следующий вид:

```
for i = 1 to n
```

$$x(i) = x(i) + t \cdot v_x(i)$$

$$y(i) = y(i) + t \cdot v_y(i)$$

```
if w = 1 or w = 2 then  $v_x(b) = -v_x(b)$ 
```

```
if w = 3 or w = 4 then  $v_y(b) = -v_y(b)$ 
```

Читатели, наверное, узнали рассмотренные выше формулы для вычисления положения шариков. Ни один шарик не сможет выйти за пределы сосуда, поскольку за время t он может лишь достигнуть стены, но не более. Два условных оператора if-then прямо обрабатывают отскок шарика b от

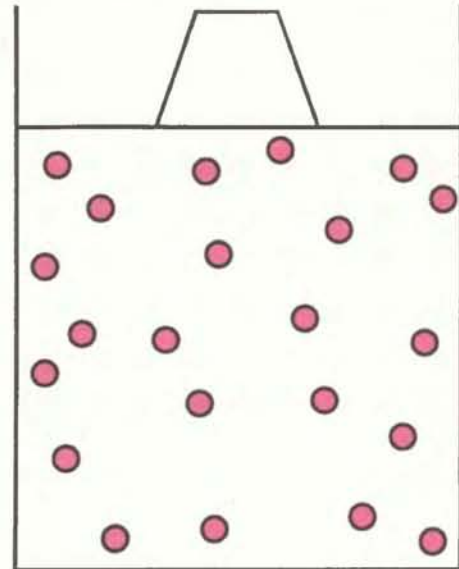


Схема цилиндра с поршнем

стенки. Если шарик ударяется об одну из вертикальных стенок, то составляющая его скорости по оси x меняется на противоположное значение, соударение же с горизонтальной стенкой означает, что поменять на противоположную следует координату скорости по оси y . При вычислении нового расположения объектов системы нужно также уменьшить величины времени в массиве событий *event*. Программа BOUNCE просто вычитает значение t из каждого элемента массива.

Шаг 3, определение следующего события для шарика b , я уже описал неявным образом; теперь рассмотрим его более подробно:

```
if  $v_x(b) = 0$  then  $t_1 = 5000$ 
```

$$t_2 = 5000$$

$$\text{else } t_1 = x(b)/v_x(b)$$

$$t_2 = (50 - x(b))/v_x(b)$$

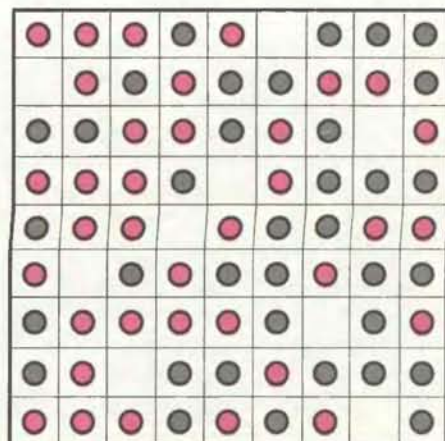
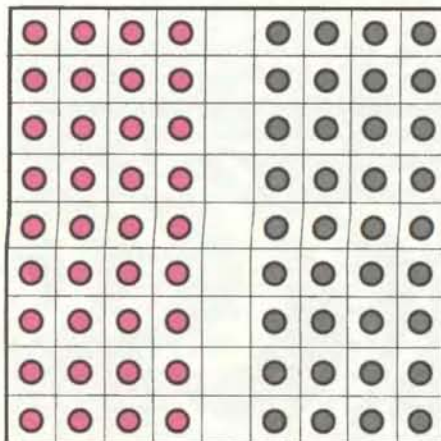
```
if  $v_y(b) = 0$  then  $t_3 = 5000$ 
```

$$t_4 = 5000$$

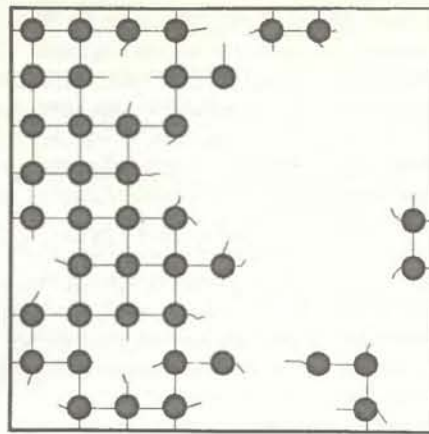
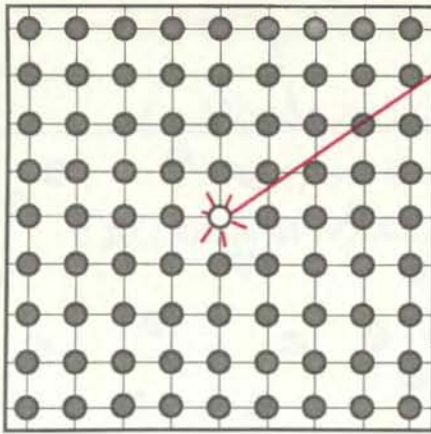
$$\text{else } t_3 = -y(b)/v_y(b)$$

$$t_4 = (h - y(b))/v_y(b)$$

Время до столкновения между шариками



Процесс диффузии двух жидкостей в матрице 9×9



Фрагмент кристаллической решетки гридума до (слева) и после (справа) цепной реакции

ком b и каждой из четырех стенок записано в виде значений четырех переменных от t_1 до t_4 . Если шарик b на продолжении своего теперешнего пути никогда не достигнет какой-нибудь из четырех стенок, то соответствующей переменной присваивается абсурдно большое значение 5000. Затем, чтобы определить стенку, которой шарик b достигнет первой, мы применяем своеобразное решето. Сначала программа присваивает переменной t значение 5000 и сравнивает его по очереди с каждым из четырех параметров от t_1 до t_4 . Проверка состоит из трех условий: если t_i меньше t , если t_i больше нуля и если $wall(b)$ не равно i , то программа заменяет текущее значение t на t_i , а вместо w подставляет значение i .

На шаге 4 происходит перетасовка очередей. Главное — определить то место в очереди, которое соответствует следующему столкновению шарика b . Это сделать нетрудно:

```

k - 2
while event(k) < t
  event(k - 1) - event(k)
  ball(k - 1) - ball(k)
  wall(k - 1) - wall(k)
  k - k + 1
  event(k - 1) - t
  ball(k - 1) - b
  wall(k - 1) - w
  
```

Здесь программа просматривает очередь событий $event$, чтобы найти место, принадлежащее в данный момент шарика b . В процессе поиска она сдвигает все три массива на одну ячейку влево. Если программа находит

элемент k , такой, что $event(k)$ не меньше t , то очевидно, что время до следующего столкновения шарика b принадлежит предшествующей ячейке k . (Когда мы задаем начальное положение и скорости шариков, находящихся в цилиндре, нужно установить также исходные значения элементов очереди. Чтобы не делать программу слишком сложной, исходные положения и скорости можно задать вручную, а временные интервалы для ближайших событий вычислить, а затем ввести их в программу с клавиатуры.)

На последнем шаге цикла программа BOUNCE должна показать на экране цилиндр и все шарики в положениях, занимаемых ими на данный момент. Выполняя эту простую операцию, нужно, конечно, не забыть стереть изображения шариков в их старых положениях.

Перед тем как приступить к выполнению основного цикла вычислений, программа просит пользователя ввести значение скорости, с которой будут двигаться шарики. Если обозначать эту величину через v , то программа затем выбирает n случайных чисел в диапазоне от $-v$ до v и присваивает эти числа в качестве значений координат скоростей по оси x , т. е. $v_x(i)$. Составляющие скоростей по оси y вычисляются теперь по теореме Пифагора, а именно они полагаются равными квадратному корню из разности $v^2 - v_x^2(i)$. Возможно, читатели захотят поэкспериментировать с различными значениями v в диапазоне от 1 до 10.

Разумеется, авторы программы

BOUNCE не устоят перед соблазном понаблюдать за тем, как поршень перемещается то вверх, то вниз в ответ на давление, оказываемое на него снизу шариками, прыгающими в цилиндре. Для этого на шаге 2 нужно провести вычисления, в которых учитывается взаимодействие двух движений, совершаемых поршнем: вниз под влиянием силы тяжести и вверх под влиянием импульса, полученного при столкновении с очередным шариком. В результате мы получаем новое значение высоты h .

В целях упрощения программы физический процесс столкновений шариков с поршнем был сведен к примитивным арифметическим действиям. За время t поршень падает на $t^2/100$ единиц, а когда по нему ударяет шарик с вертикальной составляющей скорости v_y , он поднимается на высоту, равную $v_y/100$ m единиц. Я приношу свои извинения физикам, но мой кустарный способ работает! Разумеется, пользователи программы BOUNCE должны задать массу m поршня, а также количество шариков n и их скорость v .

В программе, моделирующей диффузию, под названием BLEND (смесь) молекулы жидкости рассматриваются как шарики, которые могут перемещаться вертикально или горизонтально лишь на одну позицию за раз. Массив размером 31×31 под названием $tank$ (бак) хранит данные о 930 шариках, исходное расположение которых напоминает расстановку шахек перед началом игры. Программа BLEND еще менее реалистична, чем BOUNCE, но она тоже работает. Шарики, находящиеся в левой половине замкнутого сосуда, окрашены в красный цвет, а те, что справа — в серый (см. нижний рисунок на с. 87).

Начав работать, программа BLEND выбирает случайным образом позицию в массиве шариков, а затем также случайно одну из четырех соседних позиций. Если в первой позиции оказывается какой-нибудь шарик, а вторая пуста, то изображение шарика в старой позиции стирается и он появляется в новой, соседней позиции. Если шарик отсутствует в первой позиции и присутствует во второй, программа оставляет эти позиции без изменений. Через несколько микросекунд найдется какой-нибудь шарик, который она сможет переместить на соседнее место. Сколько времени потребуется для того, чтобы эти две абстрактные жидкости полностью перемешались? Мы не будем приводить здесь серьезного алгоритмического описания программы. Предоставляем читателям возможность проявить свои способности.

Мне не терпится поскорее перейти к

СТЕНКА	ВРЕМЯ t
1: $x = 0$	$t_1: -x/v_x$
2: $x = 50$	$t_2: (50 - x)/v_x$
3: $y = 0$	$t_3: -y/v_y$
4: $y = h$	$t_4: (h - y)/v_y$

СТЕНКА	ТОЧКА СТОЛКНОВЕНИЯ
1: $x = 0$	$(0, y + t_1 \cdot v_y)$
2: $x = 50$	$(50, y + t_2 \cdot v_y)$
3: $y = 0$	$(x + t_3 \cdot v_x, 0)$
4: $y = h$	$(x + t_4 \cdot v_x, h)$

Таблицы для расчета времени (слева) и места (справа) столкновений

гридиуму, очень опасному, нестабильному физическому элементу. При спонтанном распаде одного атома этого вещества выделяется один нейтрон. Здесь я не могу не вспомнить о знаменитом опыте Уолта Диснея. Однажды этот великий затейник заполнил весь школьный спортивный зал взведенными мышеловками. На захлопывающейся рамке каждой мышеловки покоился шарик для игры в настольный теннис. С озорной улыбкой Дисней бросил в зал теннисный шарик. Через секунду в воздухе оказались тысячи шариков и зал наполнился каким-то странным шумом. Наверное, это была самая безопасная в мире цепная реакция.

Гридиум имеет кристаллическую структуру. Его атомы, подобные маленьким шарикам, расположены в виде квадратной решетки со стороны $n + 1$ шариков. По сигналу пользователя программы центральный шарик распадается и из него вылетает нейтрон, который стремительно движется сквозь решетку шариков в случайном направлении. Если он натолкнется по пути на другой шарик, тот тоже подвергнется распаду. Начнется ли цепная реакция? Если решетка мала, то реакции скорее всего не получится. Но чем больше шариков в решетке, тем с большей вероятностью она «взорвется» (см. рисунок на с. 88). Каковы же пороговые размеры, необходимые для начала цепной реакции? Предлагаем любителям экспериментов самим получить ответ на этот вопрос. Заметим, что даже маленький микрокомпьютер значительно облегчил бы работу физикам, исследовавшим цепную реакцию в 1944 г. в Лос-Аламосе.

В нашей рубрике мы ничего не скрываем от наших читателей, у нас нет военных тайн. Я с удовольствием опубликую результаты исследований наших читателей, которым удастся определить критическую массу гридиума. В программе, которую я назвал BOOM (взрыв), используется массив *grid* (решетка). Поскольку в языках программирования, которыми пользуется большинство читателей, отсутствуют массивы переменной размерности, я решил установить для массива *grid* максимальные размеры 50×50 . Когда пользователь введет с клавиатуры значение n , программа автоматически ограничит свои операции первыми n строками и столбцами массива *grid*. В каждом элементе массива содержится по одному атому. Чтобы упростить вычисления и демонстрацию картинки на экране, радиус атома гридиума примем равным единице, а интервал между соседними атомами — шести единицам. Для удобства будем также считать, что

атом, содержащийся в элементе (i, j) массива, имеет координаты $(6i, 6j)$.

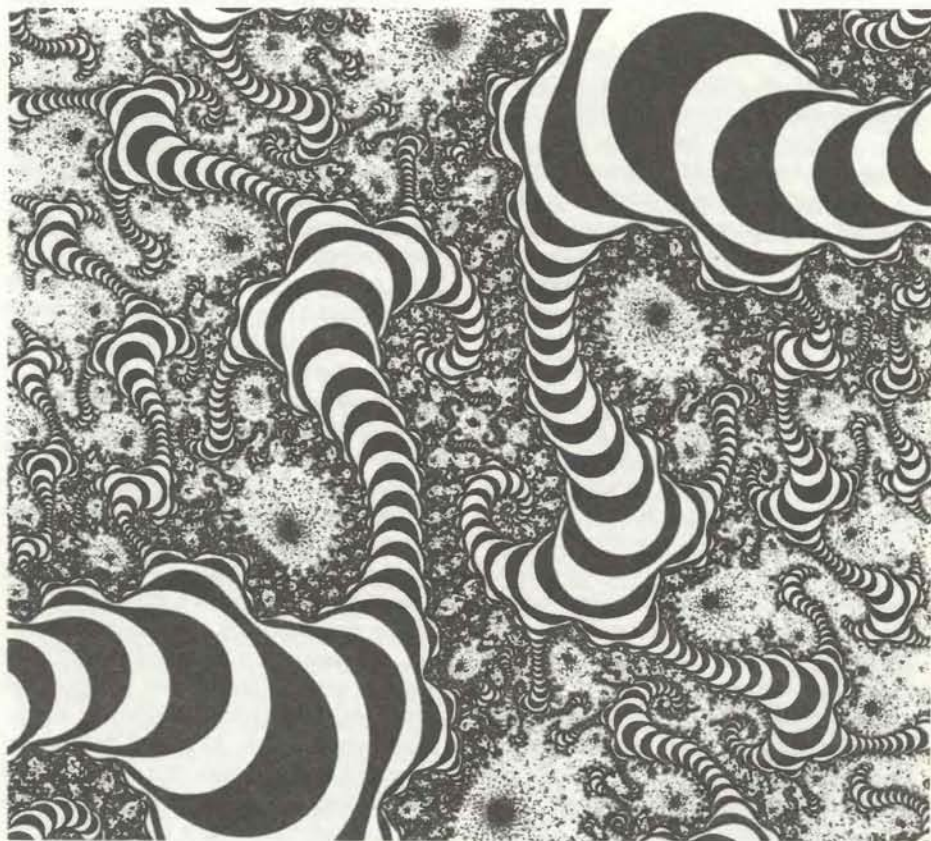
Когда атом гридиума претерпевает радиоактивный распад, программа BOOM выбирает случайным образом угол α и вычисляет синус и косинус этого угла, записывая их в качестве значений переменных s и c . При известных координатах атома (x, y) и угла нетрудно построить прямую линию. Важное значение для нас будет иметь вопрос о том, «насколько близко эта прямая пройдет от другого атома, имеющего координаты (u, v) ?» Ответ дает следующая формула: $(u - x)^2 + (v - y)^2 - [(u - x) \cdot c + (v - y) \cdot s]^2$.

По этой формуле вычисляется квадрат расстояния между точкой (u, v) и рассматриваемой нами прямой. Вместо того чтобы возиться с извлечением квадратного корня, программа просто проверяет, не превосходит ли значение этой величины единицу. Если нет, то ясно, что атом с координатами (u, v) также должен претерпеть распад.

Всякий раз, когда один из атомов решетки *grid* взрывается, программа BOOM входит в цикл, в котором в переменные u и v систематически подставляются координаты всех n^2 атомов, за исключением взорвавшегося. Атомы, которые должны претерпеть распад, добавляются к списку, имеющему форму массива и имя *fire*

(огонь). Индекс *fire* (сгорели) отделяет уже взорвавшиеся атомы, значащиеся в этом списке, от еще не взорвавшихся. Еще один индекс *end* указывает на конец списка. Каждый раз, когда взрывается новый атом, все другие атомы, лежащие на пути испущенного им нейтрона, добавляются к списку *fire*, при этом значение индекса *end* соответственно увеличивается. Когда все такие атомы определены, увеличивается значение индекса *fire* и описанный цикл повторяется вновь. Если значения индексов *end* и *fire* равны, они оба указывают количество атомов, принявших участие в цепной реакции. При каком значении n вся решетка полностью прореагирует? По-видимому, статистический разброс результатов вокруг правильного ответа будет небольшим.

Ввиду того что мы уже почти исчерпали отведенное для нашей статьи место, на этом описание программы BOOM придется завершить. Можно, конечно, вставить в программу процедуру вывода изображения на экран, но для того чтобы найти ответ на поставленный вопрос, это не обязательно. В одном из следующих номеров я опубликую наиболее интересное изображение частично взорванной решетки из числа тех, которые пришлют читатели. Я думаю, что значение n для этой решетки окажется очень близким к критической массе.



Изображение множества Мандельброта, полученное Дж. Лойлессом

В СТАТЬЕ январского номера мы вновь обратились к множеству Мандельброта и рассказали о мириадах родственных ему множеств, носящих имя Жюлиа, французского математика, одного из ведущих специалистов в области динамических систем. Программы, порождающие множества Жюлиа, настолько же просты, как и те, с помощью которых можно получать множества Мандельброта. Поэтому сотни наших читателей, а может быть уже и тысячи, написали свои собственные программы или собираются сделать это. В США издается специальный журнал о фракталах под названием "AMYGDALA". В нем приводятся различные полезные советы для тех, кто пишет программы, которые порождают множества Мандельброта или другие фрактальные множества. На его страницах программисты делятся своими секретами и рекламируют написанные ими программы.

В конце упомянутой статьи я продемонстрировал трехмерное чудовище, которое в действительности представляло собой поперечное сечение четырехмерного множества Мандельброта. Хайнц-Отто Пайтген, западногерманский математик и художник, раскрыл «рецепт» четырехмерного множества. Нужно итерировать уравнение $z - z^3 - 3a^2z + b$, где a и b комплексные параметры. Какие точки играют в четырехмерном множестве ключевую роль подобно точке $z = 0$? На самом деле существуют сразу две такие точки, а именно $z = +a$ и $z = -a$. Следовательно, мы имеем не одно, а два четырехмерных множества Мандельброта.

Г. Тичаут из Эверетта (шт. Вашингтон) пишет, что он рассматривает множества Мандельброта и Жюлиа как сечения четырехмерного множества, хотя его четырехмерное множество не совпадает с множеством Пайтгена. Основная итерационная формула $z - z^2 + c$ порождает множество Мандельброта, когда z остается постоянным, а c варьирует. Она же порождает множество Жюлиа, если c фиксировано, а z варьирует. Но z и c вместе определяют четыре измерения, по два на каждый параметр. Если собрать вместе все множества Жюлиа не в одномерную, а в двумерную совокупность, то возникает супермножество. М. Хармен из Кемберли (Англия) поделился размышлениями о таком же объекте.

Однако четырехмерный приз следует все же присудить У. Дженксу из Стамфорда (шт. Коннектикут). Не удовлетворенный обычными комплексными числами, Дженкс изобрел свои собственные числа, состоящие из четырех частей. Его числа анало-

гичны так называемым кватернионам, сложному множеству чисел, которое было изобретено математиком прошлого столетия и которым теперь пользуются физики. Дженкс прислал мне трехмерные представления своего объекта в виде последовательности из 29 его сечений.

Конечно, читатели, увлекающиеся построением изображений множества Мандельброта, хотели бы терять при этом поменьше времени — ведь кроме изображений итерационный процесс породил и множество обкусанных от нетерпения ногтей. Д. Холт из Силвер-Спринга (шт. Мэриленд) обнаружил, что скорость

можно повысить на 8%, если вместо процедуры возведения числа в квадрат воспользоваться обычной операцией умножения числа само на себя. В его программном обеспечении эта операция выполняется быстрее, чем возведение в квадрат.

Наконец, рисунок внизу на с. 89 представляет собой еще один экспонат в постоянно пополняющейся коллекции изображений множества Мандельброта. Он прислан Дж. Лойлесом из Лилберна (шт. Джорджия). При этом он воспользовался системой «ХТ турбо-клоун с арифметическим сопроцессором 8087 и 24-точечным принтером Тошиба 321».

Наука и общество

НАСА в плену проблем

ОДИН астрофизик, сотрудник НАСА, касаясь наблюдений сверхновой 1987А, ведущихся с аэростатов, самолетов и спутников, заметил: «Это единственная область, где, судя по всему, у нас что-то получается».

В самом деле, спустя два года после взрыва «Челленджера» несчастливая звезда НАСА «светит» как никогда. Планы этой организации на ближайшие годы отягощены рядом технических проблем, с которыми она столкнулась при попытках разработать новый шаттл с двигателями на твердом топливе. Как заявили официальные представители НАСА, из-за этих трудностей запуски шаттлов, которые должны были возобновиться в июне этого года, задержатся по меньшей мере на два месяца. Другие специалисты считают, что задержка окажется намного большей. Слабое руководство со стороны Белого дома создает еще более серьезную и далеко идущую проблему. Ожидалось, что президент Рейган в своем обращении к народу 25 января даст широкую панораму перспектив США в области освоения космического пространства, но он остановился только на вопросах, связанных со стратегической оборонной инициативой. На следующий день предполагалось провести пресс-конференцию, на которой руководители НАСА и министерств торговли и транспорта должны были ознакомить общественность с новыми планами администрации по исследованию космоса, но Белый дом отменил

это мероприятие за час до его начала.

В интервью корреспонденту журнала "Scientific American" У. Грехем, советник президента по науке, вкратце изложил основные концепции новой политики администрации в этой области. Он отметил, что появившиеся в прессе прогнозы, будто узловыми аспектами этой политики будет «заселение» Луны и пилотируемый полет к Марсу, возможно, совместно с СССР, далеки от истины. Грехем заявил, что администрация умышленно избежала выбора какой-либо конкретной цели, на достижение которой НАСА могло бы направить свои усилия. «Несмотря на свою привлекательность», — указал он, — программа по высадке людей на Луну оказалась несостоятельной в качестве задачи на далекую перспективу».

Кроме того, НАСА запрещено вести разработки систем и особенно средств доставки, которые оно может купить у частных фирм. «Мы не хотим, чтобы НАСА конкурировало с частным предпринимательством», — сказал Грехем. Политика администрации, похоже, основывается на допущении, что налагаемые на НАСА ограничения будут содействовать тому, чтобы более эффективный частный сектор вкладывал большие средства в освоение космического пространства. Эта концепция «приватизации», по мнению ряда специалистов, отражает возрастающее влияние министерства торговли, которое с 1984 г. уполномочено конгрессом содействовать всем коммерческим предприятиям в области совершенствования космической техники. Как

убедились в министерстве торговли, приватизация не всегда дает немедленный положительный результат. В 1985 г. это министерство передало заказы на разработку и производство спутников «Ландсат», предназначенных для съемки земной поверхности, одной частной компании. Теперь эта компания, названная EOSAT Co., работает с большим дефицитом.

О возрастающем влиянии министерства торговли говорит и оказанная ему поддержка, когда оно предложило расширить пределы разрешения изображений, получаемых с помощью гражданских спутников. Правила, принятые более 10 лет назад по настоянию разведывательных служб, запрещали компаниям разрабатывать спутники с разрешением, лучшим, чем у спутников «Ландсат», т. е. 30 м. Французские и советские спутники дают сейчас изображения с разрешением соответственно 10 и 5 м. Грехем подчеркнул, что новая политика в области освоения космического пространства включает предложение «расширить круг вопросов, касающихся съемки земной поверхности», и добавил: «Мы хотим добиться того, чтобы США были способны конкурировать в этой области с другими странами».

Министерству торговли удалось также «выбить» у НАСА фонды на разработку орбитальной станции-лаборатории, осуществляемую частной фирмой Space Industries, Inc. Эта станция, называемая Industrial Space Facility (ISF), должна стать своего рода лабораторией для автоматизированного получения специальных материалов, и люди будут посещать ее только для выполнения профилактических работ. Президент фирмы М. Фагет считает, что ISF может быть построена из имеющихся в наличии узлов и выведена на орбиту с помощью шаттла к 1992 г.; ее создание обошлось бы в этом случае примерно в 700 млн. долл. Затраты НАСА на разработку и изготовление собственной большей по размеру и более сложной космической станции составят не менее 14 млрд. долл., причем ее монтаж может быть завершен не ранее 1997 г.

Официальные представители министерства торговли настояли на том, чтобы НАСА оказало помощь в разработке ISF и после запуска арендовало ее. Грехем, хотя и не подтвердил сообщений о том, что Белый дом поддержал эту точку зрения, заявил: «Как вы понимаете, для того чтобы разработать столь значительную систему, как космическая станция, необходимо развернуть некоторую деятельность, ведущую к поставленной цели». В то же время представители

НАСА, очевидно, опасаются, что, связавшись с ISF, они потеряют время, если вообще не лишатся возможности создать собственную космическую станцию, деньги на которую и так уже сильно урезаны конгрессом. Администратор НАСА Дж. Флетчер, выступая недавно в конгрессе, заявил, что у НАСА «в настоящее время нет особых причин делать упор» на ISF.

Г. Фокс, начальник управления по коммерческим космическим программам министерства торговли, убежден, что ISF предоставит США «в недалеком будущем колоссальные возможности по получению материалов в условиях микрогравитации». Он обвинил руководителей НАСА в том, что те препятствуют созданию ISF, будучи «озабочены прежде всего оправданием своего вечного существования как бюрократического аппарата и желанием сохранить в неприкосновенности свой бюджет и сферу влияния».

Дж. Пайк, специалист по космонавтике из Федерации американских ученых сказал, что опасения НАСА в отношении станции ISF, которую он назвал «космической станцией министерства торговли», вполне обоснованны. «Мы не можем получить деньги и на одну космическую станцию, — заявил Пайк, — а собираемся иметь две». Пайк оспаривает точку зрения Фокса относительно возможности получения в ближайшем будущем каких-либо выгод от освоения космического пространства. Он указывает, что французская компания SPOT — Image Corporation, занимающаяся, как и американская фирма EOSAT, съемкой земной поверхности, напрасно тратит деньги. По словам Пайка, отрасли, специализирующиеся на производстве космических средств связи и спутников для передачи прямых теле- и радиопрограмм, хотя и остаются прибыльными, но темпы их развития снижаются. Относительно получения материалов в условиях микрогравитации, Пайк сказал: «Я думаю, что большинство сейчас сомневаются в ценности этой технологии».

Пайк также осуждает НАСА за то, что в своих планах по разработке и запуску космической станции оно отшло слишком мало места космическим исследованиям. Пайк заявил, что станция будет больше приспособлена для обработки материалов и решения инженерных задач, чем для проведения астрономических наблюдений, изучения Земли или исследований по физике плазмы. По его мнению, выбранная орбита космической станции не позволит проводить многие научные наблюдения; этому будут мешать и газовые выбросы на станции.

Т. Донахью, председатель Совета космических исследований при Национальной академии наук США, указывает, кроме того, что Управление по координации и финансированию рекомендовало изъять из бюджета НАСА на 1989 г. средства, предназначенные для работ по созданию двух новых научных космических станций — рентгеновского телескопа и зонда для изучения комет. «Это типичная дележка, — сказал он. — Космическая наука — единственный реальный «клиент» НАСА, однако она не финансируется».

Донахью признает, что в прошлом году перспективы для космической науки улучшились по крайней мере в одном отношении. Представители этой науки уже жаловались, что отсрочка запуска шаттлов ставит под угрозу запуск зондов, которые в большинстве случаев можно выводить на орбиту лишь в строго определенные моменты времени. Сейчас НАСА планирует купить ракеты для запуска научных спутников в середине 1990-х годов. Однако запланированные на ближайшие три года запуски трех научных аппаратов — «Магеллан», «Галилей» и «Улисс» — все еще предполагается осуществить с помощью шаттлов.

Донахью также считает, что правительство должно искать пути для расширения международного сотрудничества. «СССР уже опередил нас в этой области, наладив связи с Францией, ФРГ и другими странами, — замечает он. — США могли бы предпринять шаги в этом направлении, договорившись с Советским Союзом о совместных работах, возможно, по доставке на Землю образцов марсианского грунта». Пайк не возражает против этой идеи, но полагает, что проект может иметь успех только при условии, если президент будет придавать программе освоения космического пространства «большее политическое значение».

Даже правительственные чиновники, пытаясь представить американскую космическую программу в более выгодном свете, не могут обойтись без иронии. Грехем, в частности, говорит: «Нет сомнения, что в смысле технологии мы все же опережаем СССР на большинстве направлений космических исследований». Пилотируемая станция «Скайлэб», выведенная на орбиту Земли в начале 70-х годов, была более крупной и обладала «большими возможностями» по сравнению с советской станцией «Мир», считает Грехем. «У нас есть и вторая станция «Скайлэб», — говорит он, — но, к сожалению, она привинчена к полу в Смитсоновском музее авиации и космонавтики».

Тигры; как прокормить население Земли; метеоритные кратеры; остановленное мгновение



ФИЛИП MORRISON

ТИГРЫ ЗЕМНОГО ШАРА. Биология, биополитика, контроль и охрана вида, которому угрожает гибель. Под редакцией Рональда Тилсона и Улисса С. Сила

TIGERS OF THE WORLD: THE BIOLOGY, BIOPOLITICS, MANAGEMENT, AND CONSERVATION OF AN ENDANGERED SPECIES, edited by Ronald L. Tilson and Ulysses S. Seal. Noyes Publications (\$64)

ДВА СУЩЕСТВА — тигр и человек — оба появились сравнительно недавно путем эволюции от более примитивных форм на протяжении двух последних миллионов лет. Палеонтологическая летопись, результаты биохимических исследований по гибридизации ДНК и данные электрофореза растворимых белков не оставляют никаких сомнений в том, что эта дата верна. Пять ныне существующих подвидов тигра (три вымерли в нашем столетии) появились еще позднее; подобно расам человека, они выделились каких-нибудь 10 тыс. лет назад.

Самый древний южнокитайский тигр, наиболее сильно отличающийся от других по признакам черепа, несомненно, является стволовой популяцией. Хотя 1986 г. был годом тигра, в природе сохранилось всего 30 — 40 особей этого подвида; несколько более многочисленна популяция тигров, живущих в зоопарках Китая. За пределами Китая есть только два представителя южнокитайского тигра, живут они в московском зоопарке. Враг китайского тигра — человек, этот вооруженный и искусный браконьер, стремящийся завладеть частями тела животного, символизирующими силу и отвагу: кости тигра используются для приготовления целебного настоя и ценятся очень высоко.

Китайский тигр — самый мелкий подвид, а самый крупный — амурский тигр, обитающий в Сибири и в северной части Кореи. Примерно 400

амурских тигров живут на воле и столько же их содержится в зоопарках по всему миру. Сохранились лишь маленькие фрагментарные популяции этих больших кошек.

Индия представляет собой известное исключение. Бенгальский тигр — это как бы символ всего индийского субконтинента, он древнее даже самих санскритских легенд. В 70-х годах в Индии был создан десяток охраняемых тигровых заповедников и положено обнадеживающее начало осуществлению так называемого проекта «Тигр». В этих заповедниках обитает до 1000 животных; еще примерно 3000 особей живет в других природных местообитаниях. Это в десять раз меньше той численности, какой достигала популяция тигров до второй мировой войны. Но верны ли эти цифры? В одной резко критической главе приведены убедительные эмпирические данные, которые показывают, что этот исторический учет, основанный на убеждении, будто учетчики способны идентифицировать отдельных животных по их следам, чересчур оптимистичен. Вместе с тем кажется маловероятным, чтобы подвидовая популяция, в которую входит всего 2000 скрещивающихся особей, была способна выжить. Численность имеет решающее значение: в маленькой популяции не может сохраняться генетическое разнообразие, необходимое для длительного выживания. Популяция бенгальских тигров кажется слишком фрагментарной, чтобы выжить самостоятельно, хотя существуют также популяции в Индии, Непале, Бангладеше и Бирме.

Одному тигру требуется несколько квадратных километров пышной лесной растительности, которая могла бы прокормить крупных копытных, служащих ему пищей. Между тем не так-то легко найти охраняемые заповедные зоны, равные по площади

штату Коннектикут. И тигр, и человек достигли критической стадии; в следующем столетии им обоим придется плохо, если только не ослабеет давление, оказываемое на дикую природу. А пока что необходимо тщательно охранять дикие популяции животных, смешивать их с животными, выращенными в неволе, и даже способствовать скрещиваниям между ними. Для того чтобы делать все это, люди должны знать о тиграх гораздо больше, чем они знают сейчас.

Издавна эти большие кошки охотились на приматов, в том числе и на наших человекообразных предков. Современные подвиды гоминид и кошачьих научились сосуществовать; человек — неподходящая «дичь» для тигра. Тем не менее тигр продолжает охотиться на людей, хотя и не слишком интенсивно, и конфликт между ними все еще имеет место. Самые ценные данные об этом конфликте поступают из дельты Ганга, где множество разделенных протоками островов тянется вдоль побережья Бенгальского залива между Калькуттой и Даккой. Эту дикую местность покрывают самые обширные на земном шаре мангровые заросли. Они дают приют нескольким сотням тигров и многочисленным оленям и кабанам. Люди приходят сюда за хворостом, плодами и диким медом.

На человека нападают в большинстве случаев крупные самцы. Они прокусывают своей жертве шею, обычно справа. Такие тигры-людоеды встречаются с частотой один на сто. Один тигр из десяти нападает на человека при случае; на это его толкает все возрастающее знакомство с человеком. Чаще всего тигры нападают на людей в сезон сбора меда. Понятно, что первоочередное право на защиту принадлежит жителям дельты. По проекту «Тигр» в индийском секторе Суандарбана проводится «твердая и изобретательная» кампания, направленная на снижение гибели людей путем применения таких косвенных мер защиты, как электрифицированные изгороди и даже наряженные в старые тряпки глиняные куклы, шеи которых обмотаны проводами, находящимися под током (с предохранителем от смертельного удара). Одинадцать таких кукол подверглись нападению; все они находились за пределами центральной зоны охраняемой территории. В 1981 г. число людей, погибающих от нападения тигра, снизилось с 40 до 20 человек в год.

Вошедшие в книгу 46 статей — материалы симпозиума, состоявшегося в 1986 г. Они написаны специалистами по тиграм, работающими в лабораториях, зоопарках и в естественных условиях. Материалы эти разнообраз-

разны во всех отношениях. Есть в книге и рационы для тигров, содержащихся в зоопарках, и сообщения о мутантных белых тиграх, о размножении тигров, об антибиотиках против «тигриной болезни» и множество планов и предложений.

В книге имеются даже статьи, не лишенные чисто литературных достоинств. Джон Сейденстейкер — зоолог из Национального зоопарка в Вашингтоне (округ Колумбия) — много путешествовал. Его описания создают образ не просто животного, численность и генетику которого мы изучаем, а самого неукротимого и страшного Тигра. «Когда при отливе вода уходит с возвышенных мест, обнажая серо-стальные илистые отмели, поблескивающие под палящим полуденным солнцем, тигра следует искать где-нибудь в тени... И если вам в самом деле повезет, вы его увидите: с поднятой головой, наполовину в воде, он пристально следит, как ваша лодка скользит мимо, — классический сундарбанский тигр».

ГЛОБАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ. Под редакцией *М. С. Свамианатана и С. К. Синха* GLOBAL ASPECTS OF FOOD PRODUCTION, edited by M. S. Swaminathan and S. K. Sinha. International Rice Research Institute and Tycooly International, Oxford, Riverton, N. J., and Dehra Dun (\$ 24.50)

ТРИ извилистые кривые, построенные по данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО), дают нам возможность проследить изменение производства продуктов питания на душу населения в Азии, Латинской Америке и странах Африки южнее Сахары с начала 60-х до 1983 г. Вопреки мрачным предсказаниям Мальтуса, две кривые из трех демонстрируют постоянный рост (в Азии — на целых 20%), и лишь кривая, относящаяся к Африке, упорно ползет вниз из-за частых засух и гражданских войн. На той же страничке мы видим, как менялись цены на рис: в Индии и Индонезии цена на этот основной продукт питания за последние 15 лет снизилась на одну треть.

Книга, состоящая из 18 глав, посвящена проблеме обеспечения человечества питанием. М. С. Свамианатан, специалист по генетике злаков, в настоящее время является генеральным директором Международного исследовательского института риса (МИИР) близ Манилы. Профессор С. К. Синха, изучающий физиологию

растений, работает в Нью-Дели. Сотрудники МИИР многое сделали для выращивания двух стеблей (вернее, двух метелок) риса, в тех районах, где прежде удавалось вырастить лишь один. Двадцать лет назад в результате удачного скрещивания низкорослого сорта риса из Японии и Тайваня с одним из индонезийских сортов, имеющих высокий стебель, был получен полунизкорослый сорт риса, высокоурожайный и устойчивый к полеганию. Однако этот сорт страдал от сорняков и вредителей намного больше, чем каждый из его предков. Выведенные впоследствии сорта риса отличаются большей стойкостью. Они щедро откликаются на добавление удобрений, пестицидов и воды; и даже бедный крестьянин, которому все современные методы повышения урожайности не по карману, теперь выращивает больше зерна и меньше стеблевой массы.

Свамианатан подводит итоги «зеленой революции» в выращивании риса, рассматривая ее как целостную систему и не злоупотребляя голыми цифрами, такими как урожай, получаемый с гектара. По его мнению, для решения проблемы продовольствия необходимо уделить внимание следующим аспектам: экономическому, энергетическому, экологическому и социальному.

Читателю, далекому от сельского хозяйства, полезно будет ознакомиться с общим обзором проблемы обеспечения населения Земли продуктами питания. Около четырех пятых потребляемой человеком пищи составляют зерновые и другие продукты растительного происхождения; остальную часть в равных отношениях составляют продукты животноводства и моря. В среднем на каждого жителя Земли приходится около тонны зернового эквивалента в год; реально же это означает тонну зерна на одного человека в развитых странах и тонну — на пять-шесть человек в слаборазвитых странах.

Пятимиллиардное население земного шара продолжает быстро расти и через 50 лет должно достигнуть 8 миллиардов; прокормить такое число людей из расчета по тонне зерна на человека в год можно, лишь увеличив на 50% общую площадь пахотных земель и вдвое повысив урожайность. Это возможно при условии сравнительно невысокой стоимости земли и постепенном увеличении ее плодородия. Опыт резкого повышения урожайности у людей есть: так, в таблице наивысших достижений в сельском хозяйстве мы видим, что в Пенджабе за последние десять лет удалось повысить производство зерна втрое.

(Индия располагает сегодня большими зерновыми запасами.) Переход на интенсивное земледелие при высоких капиталовложениях во всем мире позволил бы более чем в три раза увеличить производство зерна в мире. Представляется более вероятным, что среднегодовое потребление зерна, заметно увеличившись, останется все же значительно меньше тонны на человека; однако вовсе не следует брать за эталон нынешний рацион жителей Северной Америки с его мясными излишествами.

Каждая новая глава книги раскрывает новые аспекты рассматриваемой проблемы. Так оказывается, что повышение спроса на продукты питания, ожидаемое к 2000 г., будет связано скорее с увеличением доходов недоедающей бедной части населения во многих развивающихся странах, чем с общим ростом населения Земли. Повышение урожайности земель, несомненно, потребует больших энергозатрат. Пример тому — опыт Индии, где за двадцать лет затраты энергии выросли от весьма незначительных до ощутимых. В 80-х годах энергетический эквивалент урожая зерновых оказался втрое больше затрачиваемой энергии — в трехкратном размере отплатили поля за затраченную гидроэнергию и энергию нефти. Поэтому с серьезными проблемами столкнутся страны, импортирующие нефть. Следует, однако, отметить, что доля энергии, затрачиваемая на мировое сельское хозяйство, в среднем составляет лишь 5% от общего потребления энергии — немногим более, чем энергозатраты на приготовление пищи.

Фиксация азота в промышленных масштабах будет и дальше быстро развиваться, даже если с помощью генетической инженерии азотфиксирующие клубеньковые бактерии удастся поселить в корнях зерновых растений. Вряд ли можно ожидать децентрализацию указанной промышленности. Однако заслуживает внимания передвижная установка для фиксации азота из воздуха, предназначенная для крупных ферм. В этой установке используется электрическая дуга, получаемая от солнечной батареи.

Эпидемиология болезней зерновых культур рассматривается в книге на новом, более высоком уровне. Борьбу с вредителями не следует вести так, как это делается обычно, когда у растения вырабатывают устойчивость к каким-то определенным штаммам вредителя. Такой способ весьма ненадежен, так как действует лишь до вспышки новых штаммов, преодолевших эту устойчивость. Вместо этого большой набор инфекционных штам-

мов находится под контролем растения-хозяина, причем болезни дают распространиться лишь в ослабленном варианте, оставляя, скажем, ограниченное число грибковых колоний на каждом листе. В этом участвует, как правило, не один, а множество генов.

Не забыты в книге и вопросы, затрагивающие отдельных фермеров: некоторые главы посвящены проблемам засоления орошаемых земель, распространения пустынь, а также мерам борьбы с насекомыми. Постепенно нам все лучше удастся справляться с этими напастями.

В ближайшие десятилетия проблема глобальной экологии станет одной из самых насущных. Еще не решен такой жизненно важный вопрос, как недоедание 500 млн. человек, и это при мировых запасах зерна в 300 млн. тонн! Чувства братства и сострадания подсказывают нам, что помимо увеличения производства зерна на рынок, следует сделать еще очень многое. Свамминатан завершает книгу на оптимистической ноте. От имени развивающихся стран, перед которыми указанные проблемы стоят особенно остро, он пишет: «В этом мире все мы — гости зеленых растений и тех тружеников, которые их выращивают. Помогите крестьянам — и вы можете сельскому хозяйству. А хорошо налаженное сельское хозяйство — это залог всех остальных успехов».

Книга вызовет интерес во многих странах: она увлекательна, своевременна и сравнительно недорога.

Кэслин Марк. МЕТЕОРИТНЫЕ КРАТЕРЫ METEORITE CRATERS, by Kathleen Mark. The University of Arizona Press (\$ 29.95)

МЕТЕОРИТЫ прилетают к нам из глубин космоса и, обрушиваясь на поверхность Земли, образуют причудливые ландшафтные формы. Из краткого и яркого повествования Кэслина Марка, известного геолога, долгое время живущего в Лос-Аламосе, мы узнаем, каким образом «исследование нескольких углублений в земле» привело к тому, что был выделен отдельный класс подземных взрывов, не сопровождающихся извержением лавы, поскольку разрушение твердой поверхности происходит не снизу, а сверху.

Неподалеку от индейской резервации Зуни к югу от Нью-Мексико сверкает поверхность голубого озера с соленой водой, берега которого образуют почти правильную окружность диаметром около полутора километров. Над поверхностью озера, назы-

ваемого Зуни-Солт-Лейк, возвышаются два конуса из шлака, кромки которых имеют белый цвет из-за высыхающей соли. Первые герлоги, посетившие озеро в 1873 г., не смогли объяснить этот феномен. Теперь мы знаем, что это маар — углубление вулканического происхождения, окруженное кольцевым валом из обломков горных пород. Маар образовался в результате нескольких взрывов газа, расколовших снизу каменную поверхность. Не излившаяся наружу лава отошла, а кратер постепенно заполнился водой из соляных ручьев. В 1955 г. образование такого же маара можно было наблюдать в чилийских Андах, когда в течение целого сезона на поверхность земли каждые полчаса вырывались потоки газа.

К западу от озера Зуни-Солт-Лейк, примерно в двух часах езды от него, находится глубокое, почти круглой формы, углубление в грунте размером с небольшое озеро. Когда-то оно называлось Кун-Батт. В нем нет вулканических материалов, а неподалеку можно найти остатки железного метеорита с большим содержанием никеля. В конце прошлого века Г. К. Гилберт, главный геолог геологической службы США, пришел к выводу, что углубление имеет вулканическое происхождение и образовано извержением пара, хотя он же считал, что лунные кратеры образованы в результате падения метеоритов. Гилберт пытался найти следы метеорита, но, как он впоследствии писал своему другу: «Я не нашел звезду, поскольку там ее нет».

Теперь это образование известно как Метеоритный кратер. Это название оно получило в 1906 г., когда горный инженер Д. М. Барринджер и другие исследователи, поддерживающие его гипотезы, обосновали метеоритное происхождение углубления. Более того, остаток своей жизни Барринджер посвятил поискам посланца небес. Он пробурил около кратера два десятка скважин, затратив на них массу средств, но ничего не нашел.

Возможно, из-за того что астрономы и геологи по-разному смотрят на вещи, им не сразу удалось выработать единую энергетическую картину удара метеорита о земную поверхность. Любая достаточно большая падающая «звезда» практически полностью испаряется; порождаемые ею ударные волны распространяются через каменную толщу в радиальных направлениях и образуют круглые углубления независимо от направления удара. Идеальный круг несколько деформируется потоком камней, летящих вверх. Примерно к 1930 г. исследователи поняли разницу между

явлениями, возникающими в результате взрыва, и явлениями, меньшими по масштабу, вызванными ударами падающих тел, образующими ямы причудливой формы, внутри которых остаются осколки метеоритов.

В середине века в научной литературе упоминалось всего двенадцать метеоритных кратеров на пяти континентах, происхождение которых непосредственно подтверждалось наличием метеоритного вещества. Фотография необычно круглого озера (которое теперь называется Новым квебекским кратером), сделанная во время второй мировой войны, побудила исследователей просмотреть в 1955 г. миллионы снимков Канадского архива аэрофотосъемки с тем, чтобы найти на них изображения подобных озер. На древних склонах Канадского плато можно увидеть десятки доисторических кратеров, больших и малых; таких кратеров много и на восточном берегу Гудзонова залива. Хотя даже с помощью алмазного бура в них не удалось обнаружить упавший метеорит, очень часто глубоко под кратером находили линзу, состоящую из нагретой до высокой температуры и расколовшейся породы. При испытаниях ядерных зарядов образуются искусственные кратеры; их форма воспроизведена в книге для сравнения с Метеоритным кратером. Прекрасная серия рисунков показывает, как образуется кратер в результате удара. К 60-м годам этот механизм был уже достаточно изучен.

Самые убедительные результаты, связанные с исследованием ударных явлений, были получены в физике высоких давлений. Постепенно стало ясно, что высокое давление, возникающее в результате проходящей ударной волны и действующее короткое время, может изменить структуру вещества. Первым примером такого преобразования была новая тяжелая фаза кремниевого коэзита (полученная из кварца Лорингом Коесом в 1953 г.). К 70-м годам были открыты различные продукты такого ударного метаморфизма, включая конусы, возникающие в результате разломов. Эти конусы представляют собой формы растрескавшегося камня и указывают не только на чрезвычайно высокое давление, но и на направление распространения ударных волн. Теперь можно было заняться поисками кратеров, образовавшихся в результате «ударов сверху».

Появление уникальных геологических образований комплекса Бушвелд Игнеус в Трансваале, простирающихся на 350 с лишним километров в горной местности, связывают (исходя из рабочей гипотезы, выдвинутой в

1975 г.) с четырьмя одновременными сильнейшими ударами метеоритов, упавших на Землю в далеком прошлом. Другую загадку представляет собой богатый никелем район Садбери в Онтарио. Там имеется много следов ударов, но нет ни одного кольцевого кратера. В конце книги рассказывается о стеклянных тектитах, которые возникают, когда выброшенные вверх расплавленные осколки — результаты удара — пролетают сотни километров в атмосфере. В целом эти факты лишь отчасти проливают свет на природу указанных явлений; многое же пока остается не ясным.

Последняя из примерно 500 ссылок, имеющихся в книге, относится к 1979 г. Хроника событий не случайно обрывается именно здесь. В 1980 г. начался новый этап в изучении явлений, связанных с падением метеоритов. Альваресы сообщили о наличии иридия метеоритного происхождения в тонком слое глины внутри пласта, образовавшегося в эпоху вымирания гигантских ящеров. В настоящее время по крайней мере не столь очевидно, что на направление органической эволюции мощные удары метеоритов повлияли столь же сильно, как, например, в пустыне шт. Аризона.

Не всякое новое чудо подтверждается. Один француз писал в 1920 г., что в Мавритании в пустыне лежит цельный кусок железа длиной 100 и высотой 50 м, наполовину погруженный в песок. Причем его видимая поверхность представляет собой металлический уступ, отполированный до блеска пылевыми бурями. Этот объект, столь же неуловимый, сколь и упавшая звезда, которую Гилберт искал в Аризоне, так и не был найден. Известно лишь, что в этом районе Мавритании обнаружен метеорит массой около 5 кг и довольно большой кратер; остальное же — чистый вымысел. В целом книга представляет собой образец ясного, не перегруженного техническими терминами изложения с великолепными иллюстрациями.

Джереми Берджесс, Майкл Мартин, Розмари Тейлор. МИКРОКОСМОС MICROCOSMOS, by Jeremy Burgess, Michael Marten and Rosemary Taylor. Cambridge University Press (\$ 29.95)

Эстель Джуссим. ОСТАНАВЛИВАЯ ВРЕМЯ: ФОТОГРАФИИ ГАРОЛЬДА ЭДЖЕРТОНА. Под редакцией Гуса Каяфаса STOPPING TIME: THE PHOTOGRAPHS OF HAROLD EDGERTON, text by Estelle Jus-sim, edited by Gus Kayafas. Harry N. Abrams, Inc., Publishers (\$ 35)

sim, edited by Gus Kayafas. Harry N. Abrams, Inc., Publishers (\$ 35)

ПЕРЕД НАМИ — новая антология микрокосмоса, иллюстрированная тремя сотнями фотографий большого формата, снабженных пояснительным текстом. Альбом можно без преувеличения назвать сокровищницей всех видов фотомикроскопии: здесь мы находим и фотографии, сделанные с помощью оптического микроскопа, и изображения поверхности образцов, полученные в растровом электронном микроскопе, и снимки тончайших пленок и срезов, исследуемых с помощью когерентного пучка электронов в просвечивающем электронном микроскопе. Все эти три прибора используются для изучения микрообразцов любого рода: клеток и тканей человека, животных, растений, частиц минералов и металлов, а также многочисленных материалов, с которыми мы постоянно сталкиваемся в быту и на производстве.

Хотя подобные альбомы издавались и ранее, настоящее издание несомненно превосходит все предыдущие по широте охвата и по качеству оформления. Приведенные в нем фотографии не только вызывают у читателя искреннее восхищение, но и дают повод для размышлений. На одной из страниц альбома мы видим изображение (полученное в растровом электронном микроскопе) сотен продолговатых выступов, отштампованных на пластмассовом компакт-диске и представляющих собой фрагмент — длительностью в доли секунды — записи 40-ой симфонии Моцарта. При тысячекратном увеличении становится видно, что эти выступы выстроены вдоль плотно скрученной спирали, соседние витки которой разделены зазором всего в 1 мкм. Изменяя длину выступов и расстояние между ними, можно закодировать любую музыку. Информация, хранящаяся в системе выступов, считывается с помощью лазерного инфракрасного луча при его отражении от покрытой алюминием зеркальной поверхности компакт-диска; при этом мимо сканирующего лазера за секунду проходит почти миллион выступов. Для изготовления компакт-диска требуется поразительная точность и применение систем контроля качества, а ведь это — всего лишь статическая структура, значительно более простая, чем «живая» кремниевая микросхема. На следующей странице читатель видит фотографию поверхности обыкновенной долгоиграющей пластинки с царапиной; увеличенная в 60 раз, царапина выглядит столь же грубой, как и вызываемый ею треск.

В другой главе мы видим более мрачный, но в то же время поучительный черно-белый снимок, полученный в растровом электронном микроскопе при 1000-кратном увеличении. На нем изображены около 50 клеток округлой формы на поверхности микроскопической раковой опухоли в человеческих бронхах (эта болезнь из года в год уносит жизни множества курильщиков). Эти злокачественные клетки с гладкой поверхностью как бы проталкиваются через «толпу» нормальных клеток, поверхность которых покрыта многочисленными функциональными ресничками. Ритмически колеблясь, реснички «выметают» пыль и бактерии из самых укромных уголков человеческих легких. Глядя на эту фотографию, кажется будто слышишь резкий кашель больного.

На другой фотографии, полученной с помощью просвечивающего электронного микроскопа с высокой разрешающей способностью, мы видим шесть атомов урана, расположенных в углах правильного шестиугольника, окружающего еще один атом урана. Все это — составляющие микроскопически малого кристаллика сложной соли урана. В структуру этого кристалла входят еще свыше ста атомов более легких элементов, однако они недостаточно сильно рассеивают электроны пучка, чтобы их можно было наблюдать в электронный микроскоп. Снимок, сделанный с поистине невероятным увеличением — в 120 миллионов раз, — просто великолепен, однако его яркие цвета, синтезированные компьютером, условны и соответствуют действительности не более, чем тот красный цвет, которым некогда обозначали на географических картах империю, над которой никогда не заходило солнце. Свободное использование таких условных цветов делает микрофотографии необычайно привлекательными, однако авторы позаботились о том, чтобы ввести этим читателя в заблуждение: в подписях под иллюстрациями всегда указывается, настоящие цвета или условные.

Большая часть иллюстраций книги позаимствована из фонда Лондонской научной фотобиблиотеки, сотрудниками которой являются двое из авторов. К сожалению, информация об этих фотографиях чересчур лаконична: в книге называется лишь автор каждого снимка. Хорошо и популярно написанное приложение посвящено различным типам микроскопов, истории их создания и принципам действия, а также несколькими недавно открывшимся новым окнами в микромир, в частности, сканирующему

туннельному микроскопу. Интересен также рассказ о том, какое важное место занимает в микроскопии приготовление образцов.

Вторая книга повествует о том, как «останавливается время» — это случается на фотографиях Гарольда Эджертонна, снимавшего танцоров, пули в полете, планктон и всплески на поверхности воды, похожие на миниатюрные герцогские короны. Лампа-вспышка и затвор фотообъектива, срабатывающий за сотые доли микросекунды, позволят нам проследить за «микроструктурой» событий. Этот том, представляющий читателю новые замечательные снимки, посвящен фотографической технике и творчеству Эджертонна, инженера-электрика из Массачусетского технологического института, создавшего в 1928 г. первую электронную газовую лампу-вспышку и до сих пор продолжающему работать в этой области. В новом превосходно оформленном альбоме читатель найдет более 120 снимков, из них два десятка — цветные. Представляя нам эту подборку фотографий и комментарии к ним, составители стремятся показать Эджертонна и его творчество как часть истории искусства фотографии. Доктор Эджертон известен не только как изобретатель и фотограф, но и как педагог, и те, кто лично знаком с ним, смогли оценить его мудрость, способность неустанно продолжать творческую работу в течение шести десятилетий, скромность и неизменные теплоту, щедрость и готовность прийти на помощь другу.

Именно Эджертон сделал больше, чем кто-либо еще и для того, чтобы наглядно «рассечь» на части время и дать пищу для размышлений даже тем, кто далек от науки и техники. Этот веселый инженер из Небраски, проработавший много лет среди всегда серьезных обитателей Новой Англии, сохранил в себе достаточно непосредственности, обычно свойственной сельским жителям и поэтам, чтобы точно выразить, почему людям нравятся его фотографии: «Я ишу все, что движется. А это всегда красиво».

Например, перед нами две фотографии: на одной из них (снятой с обычной экспозицией) мы видим лишь размытое пятно, на другой, сделанной Эджертонном, это пятно превращается в большой цветок со множеством лепестков. А вот летучая рыба пролетает мимо объектива с расправленными хрупкими плавниками; она похожа на планер, парящий в воздухе над поверхностью океана неподалеку от Каталании. Наконец, третий пример, относящийся уже к 1970-м годам: парадужных от интерференции вихрей горячего воздуха элегантно кружится

в унисон, в тот момент когда пламя горелки Бунзена рассекается лопастью быстро вращающегося вентиля-

тора; все это сложное движение «остановлено» волшебной вспышкой Эджертонна.

Наука и общество

Обманка

ПО МЕРЕ того как углубляется понимание жизненного цикла HIV — вируса, вызывающего СПИД, — исследователи пытаются использовать новые знания для создания агентов, способных прерывать жизненный цикл вируса в специфические моменты. Последняя работа такого рода основана на знании того, как вирус находит определенные клетки иммунной системы и связывается с ними. Обнаружен способ нарушать процесс связывания вируса с клеткой-мишенью при помощи «обманки», которая соединяется с вирусными частицами и тем самым предотвращает поражение клеток иммунной системы.

Эта обманка представляет собой фрагменты белка, обозначаемого CD4 или T4, который в норме располагается в мембране некоторых клеток иммунной системы. В белковой оболочке вируса, вызывающего СПИД, содержится молекула gp120, которая узнает белок CD4 и связывается с ним, что обеспечивает проникновение вируса в клетку. Связь между gp120 и CD4 имеет значение также на более поздних стадиях вирусной инфекции. После того как генетический материал HIV — РНК — проникает в клетку и образуется его ДНК-копия, которая встраивается в хромосомную ДНК, начинается синтез вирусных белков, в том числе молекул gp120, которые включаются в наружную клеточную мембрану. Там они могут связаться с молекулами CD4, что приводит к нарушению структуры мембраны, и она в конце концов рвется. Кроме того, gp120 на поверхности клетки может взаимодействовать с молекулами CD4, находящимися в мембране другой, не зараженной вирусом клетки. В результате этого зараженная и незараженная клетки сливаются, образуя так называемый синцитий. Молекулы gp120 на поверхности синцития продолжают связывать незараженные клетки, увлекая их в синцитий. В итоге одна клетка, зараженная HIV, может вывести из строя до 500 незатронутых самими вирусными частицами клеток.

Недавно в журналах «Science» и «Nature» почти одновременно было опубликовано пять независимых работ, в которых сотрудники ряда

научно-исследовательских учреждений и фармацевтических компаний сообщают о том, что удалось синтезировать фрагменты CD4, связывающиеся с gp120. Когда в среду, содержащую эти фрагменты, помещают клетки, имеющие в наружной мембране CD4, и добавляют HIV, вирусные частицы связываются со свободными фрагментами CD4, не проникают в клетки и не вызывают образования синцития. Если препарат фрагментов CD4 успешно проявит себя в экспериментах на животных и пройдет клинические испытания, его, вероятно, будут использовать в комбинации с иными агентами, действующими на другие стадии жизненного цикла HIV.

Один из этих агентов — азидотимидин (зидовудин), нарушающий обратную транскрипцию (процесс синтеза ДНК по вирусной РНК). Азидотимидин эффективен у больных с выраженными проявлениями СПИДа: смертность за год, составляющая среди таких больных 50%, уменьшается до 10%. Кроме того, показано, что в некоторых случаях азидотимидин блокирует или даже обращает проявления СПИДа в центральной нервной системе. Это лекарство имеет существенный недостаток — оно токсично; у 40% больных азидотимидин вызывает поражение костного мозга. Однако есть способ обойти проблему; он описан в статье Р. Яркоана из Национального института рака и его коллег, опубликованной в журнале «The Lancet». Эти исследователи применяли дезоксицитидин, который блокирует обратную транскрипцию почти так же, как азидотимидин, но обладает иной токсичностью — он поражает периферические нервы. В первоначальных клинических испытаниях больным давали поочередно азидотимидин и дезоксицитидин (каждый препарат — по неделе подряд). Такой курс лечения оказался эффективным, и токсическое действие обоих лекарств было меньше, чем при применении их в отдельности. Скоро будет испытываться сходное вещество — дидезоксинаденозин. Чередование ингибиторов обратной транскрипции может сочетаться с препаратом фрагментов CD4.

Что касается других стадий жизненного цикла HIV, то в настоящее время исследуется широкий спектр ве-

шеств. Как сказал С. Бродер из Национального института рака, «сейчас «в пробирке» имеется больше кандидатов на роль лекарства, чем можно рассчитывать проверить в клинических испытаниях». Одно из таких веществ — кастаноспермин, блокирующий образование белка оболочки HIV; должны были начаться его испытания на животных. Изучается также действие агентов, нарушающих сборку вирусных частиц из новосинтезированных компонентов в зараженных клетках или выход сформированных вирусных частиц из клетки. Но ни один из этих препаратов даже в перспективе не обещает вылечить от СПИДа. В лучшем случае они могут играть роль паллиативных средств, продлевающих жизнь больным с далеко зашедшим СПИДом или приостанавливающих развитие заболевания на ранних его стадиях. Согласно У. Хэзелтайну из Института Даны — Фарбера по изучению рака, эти лекарства были бы наиболее эффективными в тех случаях, когда человек заражен HIV, но у него еще не появились симптомы СПИДа, и когда есть риск заражения (в том числе для детей женщин, больных СПИДом).

Теперь наибольшая проблема, по мнению М. Хирша из Медицинской школы Гарвардского университета, заключается в том, чтобы провести клинические испытания перспективных препаратов. «На государственном уровне просто недостаточно данных, чтобы решить этот вопрос. Среди больных есть и те, кто должен участвовать в испытаниях, и те, кто хотел бы принять в них участие, и те, кто не может этого». Без клинических испытаний никакие фундаментальные молекулярно-биологические исследования не дадут метода лечения.

Родные или двоюродные?

В ЧЕМ заключена истина — в генах или в облике? Если судить по анатомическим данным, в частности по тому факту, что и шимпанзе и горилла ходят, опираясь на фаланги передних конечностей, эти два вида являются ближайшими родственниками друг друга. Однако результаты недавно проведенных исследований на молекулярном уровне свидетельствуют, что на самом деле шимпанзе ближе всего к человеку, а не к горилле.

М. Гудмэн из Медицинской школы Государственного университета им. Уэйна представил данные, весьма убедительно доказывающие ближайшее родство человека и шимпанзе. Гудмэн и его коллеги М. Миямото и Дж. Слайтом определили нуклеотидную последовательность одного и то-



ШИМПАНЗЕ (справа) И ГОРИЛЛА (слева) при ходьбе опираются на фаланги передних конечностей. В анатомии человека нет признаков этого, но новые молекулярно-генетические данные позволяют утверждать, что ранние предки *Homo sapiens* тоже передвигались таким способом.

го же участка ДНК у шимпанзе, гориллы и человека. Этот участок длиной 7000 нуклеотидных пар расположен между генами, кодирующими полипептидные цепи гемоглобина, но сам он не кодирует никакого белка. Затем исследователи установили наиболее вероятную нуклеотидную последовательность, которая могла бы быть общим предком для этих трех последовательностей, и рассчитали простейший вариант филогенетических отношений, объясняющий наблюдаемую дивергенцию от общего предка.

На полученном филогенетическом древе горилла первой обособлялась от предшественника шимпанзе и человека; позже расходились линии, ведущие к современным шимпанзе и человеку. Хотя подход, примененный Гудмэном, не позволяет точно датировать точки ветвления линий эволюционного развития, очевидно, что общий ствол человека и шимпанзе существовал примерно 5 — 10 млн. лет назад очень недолго — 0,5 — 1 млн. лет.

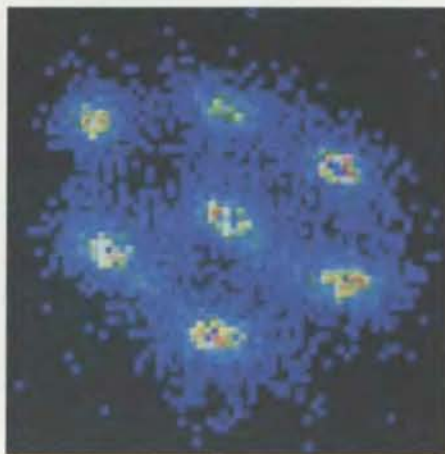
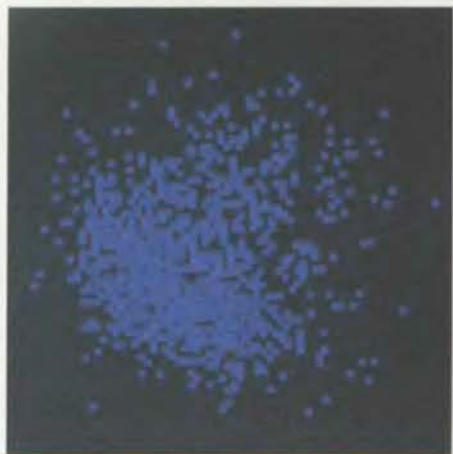
Из данных, полученных Гудмэном и его коллегами, следует, в частности, что предки человека при ходьбе опирались на фаланги передних конечностей. Поскольку и горилла, и шимпанзе передвигаются именно так, приходится предположить, что либо этот признак был у общего предка, либо он появился независимо в двух линиях эволюционного развития. Но такая независимая эволюция, скорее всего, маловероятна. На новой филогенетической схеме общий предок шимпанзе и гориллы является также предком человека, а значит, ранние предки *Homo sapiens* тоже ходили, опираясь на согнутые пальцы. Этот вывод (наряду с другими результатами молекулярно-биологических исследований) вызвал возражения у тех,

кто изучает эволюцию на основании морфологических данных. Например, в анатомии *Homo sapiens* и ископаемых гоминид трудно найти признаки хождения с опорой на фаланги. Требуется время, чтобы разрешить противоречие между морфологическими и молекулярно-генетическими данными. Гудмэн предложил поместить шимпанзе, гориллу и человека в одно подсемейство. Это довольно радикальный шаг, ведь в общепринятой ныне классификации животных эти виды находятся вообще в разных семействах: человек в семействе Hominidae, а человекообразные обезьяны в семействе Pongidae.

Замороженные ионы

У ЖЕ БОЛЕЕ десяти лет для удержания в течение продолжительного времени ионов (атомов, потерявших или захвативших один или несколько электронов) применяют электромагнитные ловушки — сложные комбинации электрических и магнитных полей, «запирающие» медленно движущиеся заряженные частицы в ограниченном объеме. Такой метод используют, к примеру, при изучении единичных актов перехода электрона в атоме с более высокого на более низкий энергетический уровень. Недавно две группы ученых — из Института квантовой оптики им. М. Планка (ФРГ) и Национального бюро стандартов США в Боулдере — наблюдали явления совсем другого рода, а именно переход ионов из «газообразного» состояния, в котором они движутся хаотически, в кристаллообразное, при котором они образуют в пространстве правильную геометрическую структуру.

Хотя две группы исследователей



ИОНЫ, захваченные электромагнитным полем, могут образовывать размытое облако (слева) или геометрическую структуру (справа) в зависимости от мощности падающего на них лазерного излучения и напряженности поля ловушки. Изображения получены в Институте квантовой оптики им. Планка (ФРГ).

работали с ионами разных металлов, применявшиеся ими методы удержания были практически одинаковыми. Путем испарения кусочка металла в вакуумной камере они получали небольшое количество нейтральных атомов. Проходящий сквозь камеру электронный пучок ионизировал атомы, которые затем сразу же «охлаждались» (тормозились), так что их температура (которая является характеристикой средней кинетической энергии ионов) опускалась до значения всего на несколько тысячных долей градуса выше абсолютного нуля ($-273,16^{\circ}\text{C}$). Охлаждение достигалось с помощью лазерного пучка, направленного против движения ионов. Пучок света противодействовал их движению, в результате чего они практически останавливались в центре электромагнитной ловушки. Запертые в ловушке ионы «купались» в лазерном свете, который заставлял их флуоресцировать. Анализ зависимости флуоресцентного излучения от длины волны лазера дает информацию об энергетическом состоянии ионов. Кроме того, флуоресценция использовалась для получения «портретов» ионов.

Обычно задержанные ионы пребывают в постоянном (хотя и ограниченном в пространстве) движении, поэтому на изображениях они выглядят как размытое «облако». Однако теория предсказывала, что если направленная внутрь сила, действующая на каждый ион со стороны электромагнитного поля ловушки, будет уравновешиваться электростатическим отталкиванием ионов (обусловленным тем, что они имеют заряды одного знака), то захваченные ионы можно полностью остановить. В этом случае ионы должны образовать правильную симметричную конфигурацию.

В своих статьях в журнале «Physical Review Letters» обе группы исследователей сообщают о том, что им удалось остановить ионы, очень точно подобрав напряженность поля ловушки и мощность «охлаждающего» лазерного излучения. Как и ожидалось, на изображениях оказалось заметно небольшое число «замороженных», образующих геометрическую структуру ионов, как это имеет место в обычных кристаллах. Ионные кристаллы легко «расплавить», в результате чего ионы снова переходят в облакообразное состояние.

Обе группы планируют изучить динамику кристаллизованных ионов, а также характерные для них геометрические конфигурации. Американские ученые уже измерили частоту колебаний пары замороженных ионов. Подобные эксперименты могут прояснить механизм перехода физических систем из упорядоченного в неупорядоченное состояние.

Обнаружены протогалактики?

ВОПРОС О ТОМ, где находятся самые молодые галактики, в которых из первородного газового облака образуется бесчисленное множество звезд, уже давно занимает астрономов. Возможно, их следует искать среди самых далеких объектов, доступных наблюдению с Земли: из-за того что скорость света конечна, мы видим эти объекты такими, какими они были в далеком прошлом. Однако почти все обнаруженные до сих пор подобные объекты являются квазарами — загадочными точечными источниками, светимость которых не уступает светимости целой галактики.

И вот недавно группа астрономов из Аризонского университета обнаружила объект, который, возможно, представляет собой скопление протогалактик, расположенное от нас дальше самых далеких квазаров. Как было сообщено на собрании Американского астрономического общества в Остине, шт. Техас, предполагаемые протогалактики удалены от нас на расстояние 17 млрд. световых лет, так что наблюдаемая картина соответствует моменту спустя 2 — 3 млрд. лет после Большого взрыва.

Р. Элстон, Дж. Райк и М. Райк вели наблюдения с помощью камеры, снабженной матрицей твердотельных детекторов, чувствительных к излучению с длиной волны 2 мкм (она соответствует ближней инфракрасной области спектра). Чувствительность такой камеры намного выше, чем у одноэлементного детектора или у фотопленки; подобные устройства появились около трех лет назад и совершили в буквальном смысле переворот в инфракрасной астрономии.

Высокая чувствительность к инфракрасному излучению требуется для того, чтобы наблюдать объекты, чрезвычайно далеко отстоящие от нас во времени и в пространстве. Поскольку, как известно, Вселенная расширяется, галактики и другие объекты удаляются от Земли со скоростью, пропорциональной расстоянию до них. Это движение проявляется в их спектрах в виде смещения спектральных линий к красной области спектра (т. е. в виде увеличения длины волны).

Прошлой весной Р. Элстон и Дж. Райк установили свою камеру на 152-сантиметровом телескопе Стюардской обсерватории Аризонского университета, нацелив ее на участок неба, достаточно удаленный от плоскости Млечного пути, в которой расположены не пропускающие свет облака пыли. После каждой экспозиции наблюдатели фотографировали соседний участок неба и с помощью специального электронного устройства «вычитали» второй сигнал из первого; такой прием позволяет исключить помехи, возникающие вследствие рассеяния света в атмосфере и из-за дефектов в матрице. Затем около ста обработанных таким способом изображений были наложены друг на друга.

На результирующем изображении проявились расплывчатые объекты, яркость которых в инфракрасном диапазоне составляет лишь одну десятитысячную яркость фонового свечения неба. В видимой области спектра они оказались еще более тусклыми. Когда ученые исследовали тот же участок неба с помощью оптического де-

тектора, установленного на 225-сантиметровом телескопе обсерватории Китт-Пик, они обнаружили только два из этих объектов, причем их яркость в видимой части спектра составляла всего одну двадцатую яркости в инфракрасной области.

То, что обнаруженные объекты столь бледны, заставляет предположить, что они не являются ни близкими к нам звездами, ни далекими квазарами, а именно галактиками. Различие в их светимости в видимом и инфракрасном диапазонах наводило исследователей из Аризонского университета на мысль, что эти объекты могут представлять собой протогалактики с чрезвычайно большим красным смещением. «Согласно существующим представлениям, — говорит Элстон, — протогалактики должны выглядеть именно так, как выглядят обнаруженные нами объекты».

Можно предполагать, что протогалактика, заполненная массивными звездами с малым временем жизни, имеет большую яркость. Однако из-за того, что в ней содержится огромное количество первородного водорода, ее светимость на длинах волн, меньших так называемого предела Лаймана (излучение с такими длинами волн поглощается водородом), резко падает. У близких к нам протогалактик предел Лаймана должен находиться в ультрафиолетовой области спектра, но у далеких объектов он сдвигается к красной области. Для протогалактик с красным смещением от 6 до 25 (это число показывает, во сколько раз увеличивается длина волны излучения вследствие удаления объекта) граничное значение попадает на участок между ближней инфракрасной и видимой областями спектра.

Именно на этой длине волны резко падает светимость недавно обнаруженных объектов. Однако Элстон и другие астрономы предупреждают, что идентификация объектов как протогалактик является предварительной. Группа из Аризонского университета планирует продолжить наблюдения и получить спектры загадочных объектов, что позволило бы точно определить величину их красного смещения. Как считает Х. Смит-младший из Калифорнийского университета в Сан-Диего, «было бы чрезвычайно интересно, если бы выводы подтвердились».

Одно можно сказать со всей определенностью: если на маленьком участке неба, обследованном астрономами из Аризонского университета, оказалось как минимум два таинственных объекта, то эти объекты должны быть широко распространены. На каждом участке неба площадью в один квадратный градус дуги может

содержаться до 1000 подобных объектов. Тот факт, что уже через такой короткий промежуток времени после Большого взрыва образовалось столько галактик, возможно, вынудит пересмотреть общепризнанную теорию возникновения первоначальных флуктуаций плотности в первородной материи. Эта модель, известная под названием модели холодной материи, утверждает, что вещество было распределено в пространстве равномерно достаточно долго — значительно дольше того момента в истории Вселенной, к которому в свете новых данных можно отнести образование протогалактик. «Если окажется, что все галактики образовались так давно, — считает космолог из Аризонского университета С. Уайт, — теорию придется выбросить на свалку».

Ритуал на колесах

В ПРЕДСТАВЛЕНИИ большинства людей в древней Месоамерике отсутствовал один из основных компонентов европейской цивилизации — колесо. Однако они не совсем правы. Некоторое время назад стало известно, что древние жители Мексики, Сальвадора и Гватемалы имели похуже на игрушки устройства с колесами, которые никогда не были использованы на практике. Находка единственной статуэтки на колесах большого размера проливает свет на происхождение, распространение и функции колеса в Месоамерике, а также объясняет, почему это изобретение не было никогда применено в средствах транспортировки.

Находка сделана в древнем городе в Центральной Мексике, именуемом Тула. Основанная около 750 г. н. э., Тула была столицей тольтекского государства. (Тольтеки были предшественниками астеков, которые считали тольтеков своими героическими предками.) Тула, вероятно, достигла своего расцвета около 1050 г., когда в ней

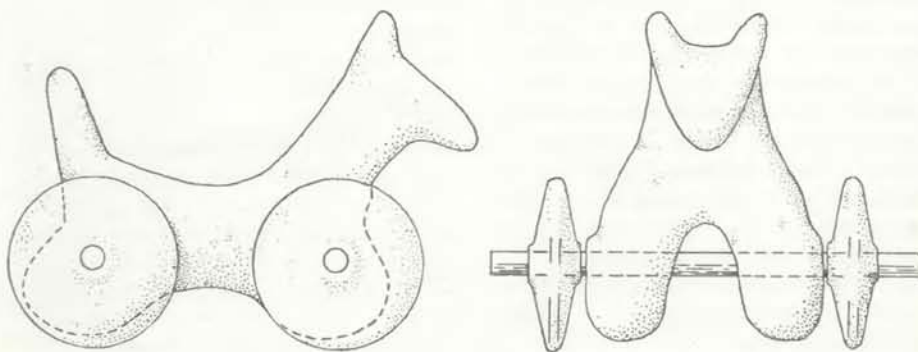
проживало не менее 35 тыс. жителей. Вскоре последовала гибель тольтекской культуры.

Группа археологов под руководством Ричарда А. Дила, работающего в настоящее время в Алабамском университете, произвела в Туле широкие раскопки. В северной части города был раскопан район, включающий 15 домов; именно здесь и были найдены фрагменты статуэток на колесах. 79 выкопанных фрагментов являлись остатками по меньшей мере 27 различных фигурок. Целые статуэтки, должно быть, имели длину около 10 см и представляли собой изображение животного с отверстиями для оси колеса в каждой ноге. Большинство изображало собаку — животного, игравшего важную роль в религиозной символике и иконографии древней Месоамерики.

О чем же рассказывают находки в Туле? Во-первых, количество статуэток на колесах в этом городе значительно превосходит число известных находок из других мест. «Раньше нам было известно по одной статуэтке на колесах из разных поселений, — говорит Дил. — В Туле фигурки на колесах составляют почти 10% всего количества керамических статуэток. Это означает, что подобные фигурки были значительно более распространены, чем мы думаем».

Местонахождение фрагментов свидетельствует о том, что статуэтками пользовались в семейных обрядах. Ранее исследователи называли их игрушками на колесах. Последние раскопки, однако, говорят о ритуальном их назначении, и Дил согласен с этим. Связь статуэток на колесах из Тулы с руинами жилых зданий, а не храмов, указывает на то, что они не использовались в ритуалах, совершаемых в храмах жреческой элитой. Какими же могли быть скромные семейные обряды? Дил признает, что поставлен в тупик.

Он добавляет, что по имеющимся данным концепция колеса в Месоамер-



СТАТУЭТКА НА КОЛЕСАХ была восстановлена из фрагментов, найденных в Туле — древней столице тольтеков в Центральной Мексике. Статуэтка длиной около 10 см изображает собаку.

рике, вероятно, родилась незадолго до 900 г. н. э. на побережье Мексиканского залива, там, где сейчас расположен штат Веракрус. Вскоре после этого она достигает Центральной Мексики и Сальвадора. Несмотря на то что колесо было широко известно, два фактора, говорит Дил, помешали его практическому применению. Главным из них было отсутствие тягловых животных: самыми крупными домашними животными древних мексиканцев были небольшие бесшерстные собаки, называвшиеся «шолоицкуинтли».

Другим фактором были природные условия Мексики. И Центральное нагорье, и болотистые прибрежные низменности Мексики представляли серьезные препятствия для развития колесного транспорта. Вместо колеса древние месоамериканцы развили систему транспортировки грузов носильщиками на спине и в лодках. Как и другие исследователи, Дил приходит к выводу, что до появления двигателей внутреннего сгорания затраты на колесный транспорт (такие, как прокладка дорог и разведение крупных тягловых животных) значительно превосходили все потенциальные выгоды от его использования.

Водители ритма: критический взгляд на проблему

В 1983 г. в США было имплантировано более 120 тыс. водителей ритма, каждый стоимостью 12 тыс. долл. Предназначенные для поддержания устойчивого ритма сердечной деятельности у пациентов, страдающих аритмией или пониженной частотой сердечных сокращений, эти небольшие электрические устройства считаются спасителями жизни для миллионов людей, которым их вживили.

Это не совсем так — утверждают некоторые исследователи Медицинского центра им. А. Эйнштейна в Филадельфии. В статье, опубликованной в журнале «New England Journal of Medicine», Э. Гринспен и его коллеги сообщают, что лишь менее половины случаев (44%) имплантации водителей ритма в Филадельфии в 1983 г. можно считать вполне оправданными с медицинской точки зрения; в 36% случаев есть сомнение в целесообразности проведенных операций, и 20% следует признать случаями, когда имплантация вообще было излишним.

Эти выводы сделаны на основе анализа историй болезни 382 больных,

которым по программе Medicare были имплантированы водители ритма с июня 1983 г. в 30 больницах Филадельфии. Комиссия в составе восьми экспертов, в число которых входили четыре высококвалифицированных кардиолога, пришла к заключению, что в каждом пятом случае не было необходимости вживлять водитель ритма. Это относится ко всем больницам, подвергшимся проверке, независимо от размеров клиники и масштабов проводимых в ней научных исследований.

Имплантация водителя ритма — это относительно несложная и не связанная с большим риском для жизни операция. Эксперты не сомневаются, что пациентов настойчиво склоняли к ней, поскольку врачи и лечебные учреждения заинтересованы в получении солидных гонораров за эту операцию. Кроме того, в сомнительных случаях врачи склонны рекомендовать ее из-за страха перед судебной ответственностью за преступную небрежность.

В 1986 г. в рамках системы Medicare была принята программа о гарантированном обеспечении качества лечения под названием «Quality Assurance and Utilization Review», и теперь в отношении пациентов, получающих лечебную помощь по Medicare, в каждом случае требуется получение предварительного разрешения на имплантацию водителя ритма. Как сказал Р. Десантис, главный кардиолог Массачусетской больницы общего типа, «они строго придерживаются нового правила». Хотя данные, приведенные в статье Гринспена, произвели на Десантиса сильное впечатление, он считает, что число случаев неоправданной имплантации резко сократилось с 1983 г., и чтобы информация по этому вопросу была более достоверной, необходимо дополнительно проанализировать данные за 1987 г.

Именно это и собирается сделать Гринспен. Он согласен, что число имплантаций водителей ритма резко сократилось в результате проявленного со стороны Medicare пристального внимания к проблеме, и ставит перед собой задачу выяснить, насколько велико это сокращение. «Одна из основных волнующих меня проблем, — говорит Гринспен, — заключается в том, что водители ритма психологически могут наносить вред здоровью больного, особенно в тех случаях, когда они действительно имплантированы без надобности. Для многих уже немалых пациентов они являются сигналом того, что их продуктивная жизнь подошла к концу».

Должны ли пациенты с имплантированными водителями ритма, кото-

рые могли бы обойтись и без них, поспешить избавиться от них? Со всем нет, говорят эксперты. Хотя имплантация и связана с некоторым риском занести инфекцию, большая часть водителей ритма практически безвредна и они вряд ли могут вызвать какие-либо осложнения, даже в тех случаях, когда их имплантация не была полностью оправданной.

Наблюдения сверхновой 1987А

ЗА ВРЕМЯ, прошедшее с момента вспышки сверхновой 1987А в Большом Магеллановом Облаке 24 февраля прошлого года, она значительно потускнела (по крайней мере, в видимой части спектра). Однако ее изучение приносит все новые открытия.

Возможно, наибольшее удовлетворение вызвало впервые полученное подтверждение гипотезы о том, что все тяжелые элементы, начиная с кремния, который входит в большом количестве в состав Земли и ее обитателей, образуются во взрывающихся звездах. Первый намек на то, что внутри сверхновой 1987А происходит нуклеосинтез тяжелых элементов, дает так называемая кривая блеска. В первые несколько недель после вспышки сверхновая тускнела, и многие теоретики предсказывали, что так будет продолжаться и дальше.

Другие, в частности С. Вусли из Калифорнийского университета в Санта-Крус, считали иначе. Вусли разработал модель сверхновой, согласно которой сначала при взрыве образуется большое количество кобальта-56; затем этот изотоп, период полураспада которого составляет 77 суток, распадается, превращаясь в стабильный изотоп железа, причем при распаде возникает гамма-излучение. Вусли предсказал, что, когда внешняя оболочка взорвавшейся звезды достаточно расширится и станет прозрачной для превратившегося в видимый свет гамма-излучения, блеск сверхновой вновь возрастет. И действительно, блеск возрастал начиная с середины марта и до конца мая. Затем он начал ослабевать со скоростью, соответствующей скорости распада кобальта-56.

Вусли и другие теоретики предсказывали также, что по мере увеличения прозрачности наружной оболочки астрономы смогут наблюдать распад кобальта в более явном виде — сначала в рентгеновском диапазоне, а в конечном итоге в диапазоне гамма-излучения. В октябре прошлого года приборы, установленные на советс-

кой космической станции «Мир»* и японском спутнике «Ginga», обнаружили рентгеновское излучение. В последующие недели четыре детектора, принадлежащие Национальному управлению по авионавигации и исследованию космического пространства (НАСА) — один из них установлен на спутнике, запущенном по программе «Solar Maximum Mission», а остальные были выведены с помощью аэростатов в верхние слои атмосферы над Австралией, — также зарегистрировали рентгеновское излучение.

Дополнительные доказательства наличия в сверхновой тяжелых элементов были получены с помощью Купперовской воздушной обсерватории НАСА — самолета, на борту которого установлены инфракрасные датчики. По сообщению сотрудника НАСА Ф. Джиллетта, во время двух полетов в ноябре прошлого года приборы обсерватории зарегистрировали инфракрасное излучение, характерное для кобальта, никеля, кремния, серы и аргона.

По мнению Э. Чаппа из Нью-Гэмпширского университета, руководителя программы исследований по проекту «Solar Maximum», все полученные результаты свидетельствуют о «настоящем триумфе теории». Он, в частности, полагает, что обнаруженные гамма-излучения сравнимо по важности с обнаружением нейтрино в момент вспышки сверхновой, подтвердившим правильность теории, которая описывает начало взрыва.

Исследователи надеются, что дальнейшие наблюдения помогут им в изучении истории звезды Сандулек-69202 — голубого гиганта, предшественника сверхновой 1987А. До сих пор считалось, что такие звезды, слишком горячие и молодые, не могут взрываться. Некоторые исследователи, однако, считают, что когда-то Сандулек был красным гигантом, а несколько тысяч лет назад «сбросил» свои наружные слои в виде солнечного ветра. По мнению Р. Киршнера из Гарвард-Смитсоновского астрофизического центра, данные со спутника «International Ultraviolet

Explorer» подтверждают эту гипотезу. Они свидетельствуют о наличии вспышки ультрафиолетового излучения, возникшей в результате нагрева при взрыве сверхновой медленно движущегося газового облака с высоким содержанием азота, который, как считают, входит в состав оболочек красных гигантов.

Ученые пытаются выяснить также, образовался ли после взрыва Сандулека звездный остаток. Нейтринная вспышка, сопровождавшая взрыв, указывает на то, что ядро коллапсировало и превратилось в нейтронную звезду. Если последняя вращается достаточно быстро, она должна представлять собой пульсар — источник периодических всплесков электромагнитного излучения. Однако, как отмечает Т. Принс из Калифорнийского технологического института, тот факт, что пульсар до сих пор не обнаружен, ставит пределы его мощности.

Возможно, самые неожиданные результаты были получены группой ученых из Гарвардского университета, использовавших технику спеклинтерферометрии. В июне прошлого года эти исследователи сообщили об обнаружении таинственного «компаньона» сверхновой (см. заметку «Сверхновая!» в рубрике «Наука и общество», «В мире науки», 1987, № 9). Последующие наблюдения этот факт не подтвердили. Позднее ученые сообщили о том, что им удалось измерить диаметр сверхновой: он оказался примерно в пять раз больше, чем дает общепринятая теория. Сотрудник НАСА Р. Стачник, знакомый с этими исследованиями, настаивает на внимательном отношении к полученным результатам. «Сейчас они кажутся второстепенными, — отмечает он, — но могут оказаться очень важными».

Опасные планы

БОЛЕЕ года назад Советский Союз не признавал, что обладает химическим оружием. В апреле же прошлого года генеральный секретарь ЦК КПСС М. С. Горбачев заявил, что его страна на самом деле имеет такое оружие, а чтобы ускорить переговоры по его запрещению, Советский Союз решил прекратить его производство. На состоявшейся впоследствии конференции ООН по разоружению в Женеве советская сторона согласилась с требованием США о проведении инспекций на местах, включая так называемые инспекции по требованию любого объекта в любое время с целью проверки выполне-

ния договора. В ноябре 1987 г. официальные представители СССР и США посетили объекты, имеющие отношение к производству химического оружия в той и другой стране. 10 декабря М. С. Горбачев и президент Рейган подписали совместное заявление о взаимном стремлении к заключению договора о запрещении химического оружия.

Спустя шесть дней США приступили (впервые за последние почти 20 лет) к производству так называемого бинарного химического оружия. Бинарное оружие состоит из двух компонентов — канистры и оболочки, каждая из которых содержит смертоносное вещество. После введения канистры в оболочку их содержимое перемешивается, и в результате образуется газ нервно-паралитического действия. Пентагон требовал ассигнований на производство бинарного оружия не один год. В прошлом году после горячих дебатов конгресс согласился выделить 58 млн. долл., чтобы начать его производство.

США уже обладают десятками тысяч единиц «унитарного» оружия, включая артиллерийские снаряды, бомбы, боеголовки ракет и мины, которые размещены в самих США и ФРГ. Они начинены такими химическими веществами, как зарин, отравляющие вещества нервно-паралитического действия (парализующие людей и вызывающие удушье за несколько секунд), иприт, оказывающий жонно-нарывное действие и поражающий более медленно, а также несмертоносные отравляющие вещества, такие, как ВЗ — галлюциген, подобный ЛСД.

Представители Пентагона и государственного департамента США утверждают, что большая часть унитарного оружия устарела и представляет опасность и что бинарное оружие необходимо, чтобы уравновесить производство Советским Союзом своего химического оружия. Они также настаивают на том, что это оружие оказывает позитивное воздействие на процесс контроля над вооружением и что его разработка вынудила Советский Союз пойти на недавние компромиссы. «Выказывая наши серьезные намерения относительно модернизации, — заявил майор Рэндал Э. Моргер, представитель Пентагона, — мы тем самым ускоряем процесс переговоров».

Сторонники бинарного оружия подчеркивают, что даже если бы Советский Союз разоружился в одностороннем порядке, Соединенным Штатам все равно было бы необходимо химическое оружие для предотвращения угрозы нападения со стороны

* Телескопы Международной орбитальной обсерватории «Рентген» на модуле «Квант» комплекса космической станции «Мир» зафиксировали жесткое рентгеновское излучение от сверхновой 1987А 10 августа 1987 г. и продолжают следить за увеличением рентгеновского потока (см.: Р. Сюняев, А. Каниовский, В. Ефремов и др. Обнаружение жесткого рентгеновского излучения сверхновой 1987А. Предварительные результаты модуля «Квант». — Письма в астрономический журнал, 1987, т. 13, № 12, с. 1027) — Прим. ред.

таких стран, как Ливия и Иран, которые, по некоторым данным, приобрели химическое оружие. По их мнению, США следует приступить к его уничтожению только после того, как это сделают все страны. На выработку процедур проверки выполнения предполагаемого договора могут уйти годы, поскольку инспектироваться должны не только государственные объекты, но также и химические компании, обеспокоенные потерей информации, связанной с их производственной деятельностью. После подписания договора на уничтожение запасов химического оружия может уйти целое десятилетие. Тем временем бинарное оружие, по мнению сторонников его производства, защитит США и укрепит их позиции на женевских переговорах.

Сторонники контроля над вооружениями выступают против этой точки зрения. Иво Дж. Спалатин, член Комитета по иностранным делам палаты представителей, который вот уже несколько лет выступает против финансирования производства бинарного оружия, говорит, что те, кто рассматривает бинарное оружие как козырь на переговорах, неправильно расценивают недавние действия СССР. «Я думаю, Советский Союз понимает, что с военной точки зрения химическое оружие почти или совсем не представляет ценности», — замечает Спалатин.

По мнению Спалатина, «бинарная» программа может в действительности уменьшить потенциал устрашения США. Производство двух из трех видов бинарного оружия — бомб и ракет залпового пуска — задержано

на неопределенное время в связи с техническими проблемами. В настоящее время возможно производство только 155-миллиметровых артиллерийских снарядов, дальность действия которых составляет примерно 25 км. Существуют также ограничения, наложенные конгрессом: два компонента каждого снаряда или бомбы должны храниться в разных штатах и быть совместно установлены только тогда и только там, где их предстоит использовать. Спалатин полагает, что США следует заключить с СССР двустороннее соглашение, а затем оказать давление на другие страны с целью побудить их присоединиться к договору. «Многостороннее соглашение невозможно заключить без предварительного двустороннего соглашения», — говорит он.

Эту точку зрения разделяет Мэтью С. Меселсон, биолог из Гарвардского университета, который длительное время выступает за установление контроля над бактериологическим и биологическим оружием. Он считает, что решение США наращивать запасы бинарного оружия вовсе не служит делу разоружения и может вызвать у других стран стремление заполучить химическое оружие. Меселсон также отвергает концепцию «ответного удара теми же средствами». Он говорит: «Если мы захотим нанести ответный удар по Ливии или Ирану, у нас есть много других, более точных средств, чем химическое оружие».

Меселсон отмечает, что поскольку обладатели химического оружия должны иметь громоздкие средства защиты, их мобильность, а следова-

тельно, и тактические преимущества снижаются. Этим недостатком можно объяснить, почему Ирак, использовавший недавно иприт, не одержал военной победы над Ираном, хотя в результате применения этого оружия погибли и были ранены тысячи иранских солдат.

Книги издательства „Мир“

ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ПОЛУПРОВОДНИКИ

Под ред. Г. Харбеке
Перевод с английского

Поликристаллические полупроводники занимают важное место среди материалов электронной техники. Они используются для изготовления пленочных резисторов, варисторов, фоторезисторов, активных элементов солнечных батарей.

Предлагаемая книга представляет собой коллективную монографию, отражающую современное состояние теории, технологии производства и перспективы внедрения поликристаллических полупроводников.

Содержание: атомная структура межзеренных границ, анализ основных типов дефектов, динамика границ; современные представления об электронных пограничных состояниях и их роли в переносе носителей заряда; практические применения поликристаллического кремния, введение в теорию планарных транзисторов на основе поликремния; применения поликристаллических полупроводниковых соединений.

Книга предназначена для инженеров-технологов, конструкторов и научных работников, занимающихся микроэлектроникой и ее приложениями.

1988, 17 л. Цена 3 р. 70 к.



ПРОТИВОГАЗ и тяжелый прорезиненный костюм служат средством защиты от химического оружия как в армии США, так и СССР.

(начало см. на с. 4)

изобразительного искусства при Нью-Йоркском университете и доктора философии в Университете шт. Индиана. Преподавала в Свассморском колледже, Университете шт. Миссури, Калифорнийском университете в Беркли и Нью-Йоркском университете. Исследования в Коссе начала проводить будучи сотрудником Американской академии в Риме. Результаты этого исследования были опубликованы в работе «The Roman Port and Fishery of Cosa» (издательство «Princeton University Press», 1987). Макканн является председателем нового национального комитета по подводной археологии Американского археологического института.

Книги издательства „Мир“

П. Хочачка, Дж. Сомеро БИОХИМИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ

Перевод с английского

В книге американских авторов описаны биохимические механизмы адаптации к различным (в том числе экстремальным) условиям существования. Особое внимание уделено адаптации к физической нагрузке, высокой температуре, холоду, недостаточности кислорода.

Авторы уже известны советскому читателю по ранее вышедшей книге «Стратегия биохимической адаптации» (М.: Мир, 1977 г.).

Для биохимиков и физиологов, а также специалистов-медиков, занимающихся спортивной медициной и изучением стрессорных воздействий на организм.

1988, 37 л. Цена 4 р. 70 к.



НЕАКУСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОДВОДНЫХ ЛОДОК

ANTI-SUBMARINE WARFARE AND STRATEGIC STABILITY. Donald C. Daniel. University of Illinois Press, 1986.

STRATEGIC ANTISUBMARINE WARFARE AND NAVAL STRATEGY. Tom A. Stefanick. Lexington Books, 1987.

COMPARISON OF A NEX RADAR OCEANIMAGING MODEL WITH SARSEX INTERNAL-WAVE IMAGE DATA. Dennis Holliday, Gaetan St. Cyr and Nancy E. Woods in *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 8, No. 9, pages 1423-1430; 1987.

ГРАВИТАЦИЯ И АНТИВЕЩЕСТВО

GRAVITATION AND SPACETIME. Hans C. Ohanian. W. W. Norton & Co., 1976.

EXPERIMENTS TO MEASURE THE GRAVITATIONAL ACCELERATION OF ANTIMATTER. T. Goldman and Michael Martin Nieto in *Physics Letters*, Vol. 112B, No. 6, pages 437-440; May 27, 1982.

ELEMENTARY PARTICLES AND THE LAWS OF PHYSICS (THE 1986 DIRAC MEMORIAL LECTURES). Richard P. Feynman. Cambridge University Press, 1987.

GEOPHYSICS AND THE LAW OF GRAVITY. F. D. Stacey, G. J. Tuck, G. I. Moore, S. C. Holding, B. D. Goodwin and R. Zhou in *Reviews of Modern Physics*, Vol. 59, No. 1, pages 157-174. January, 1987.

Александров Е. В поисках пятой силы. — Наука и жизнь, 1988, № 1, с. 50-55.

Милуков В. К. Изменяется ли гравитационная постоянная? — Природа, 1986, № 6, с. 96-104.

АНТИТЕЛА-КАТАЛИЗАТОРЫ

ENZYMATIC CATALYSIS AND TRANSITION-STATE THEORY. Gustav E. Lienhard in *Science*, Vol. 180, No. 4082, pages 149-154; April 13, 1973.

TRANSITION STATES IN BIOCHEMICAL PROCESSES. Edited by Richard D. Gandour and Richard L. Schowen. Plenum Press, 1978.

ENZYME STRUCTURE AND MECHANISM. Alan Fersht. W. H. Freeman and Company, 1985.

CATALYTIC ANTIBODIES. Alfonso Tramontano. Kim D. Janda and Richard

A. Lerner in *Science*, Vol. 234, No. 4783, pages 1566-1570; December 19, 1986.

A STEREOSPECIFIC CYCLIZATION CATALYZED BY AN ANTIBODY. Andrew D. Napper, Stephen J. Benkovic, Alfonso Tramontano and Richard A. Lerner in *Science*, Vol. 237, No. 4818, pages 1041-1043; August 28, 1987.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КРАНЫ

CRANES AND DERRICKS. Howard I. Shapiro, McGraw-Hill Book Company, 1980.

USA CRANE MARKET SURVEY. In *Cranes Today*, No. 144, pages 21-56; August, 1985.

WHEELS OF POWER. In *Cranes Today*, No. 150, pages 53-54; March, 1986.

TRAVELLING CRANES ON THE HIGHWAY. In *Transportation Engineer*, Vol. 34, No. 3, pages 39-45; May/June, 1987.

ОТЧЕГО У ЛЕОПАРДА ПЯТНА НА ШКУРЕ

A UNITY UNDERLYING THE DIFFERENT ZEBRA STRIPING PATTERNS. Jonathan B. L. Bard in *Journal of Zoology*, Vol. 183, Part 4, pages 527-539; 1977.

A PRE-PATTERN FORMATION MECHANISM FOR ANIMAL COAT MARKINGS. J. D. Murray in *Journal of Theoretical Biology*, Vol. 88, No. 1, pages 161-199; 1981.

ON PATTERN FORMATION MECHANISMS FOR LEPIDOPTERAN WING PATTERNS AND MAMMALIAN COAT PATTERNS. J. D. Murray in *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B*, Vol. 295, No. 1078, pages 473-496; October 7, 1981.

A NEW APPROACH TO THE GENERATION OF PATTERN AND FORM IN EMBRYOLOGY. J. D. Murray and P. K. Maini in *Science Progress* Vol. 70, No. 280, Part 4, pages 539-553; 1986.

Белинцев Б. Н. Диссипативные структуры и проблемы биологического формообразования. — Успехи физических наук, 1983, т. 141, вып. 1, с. 55-101.

Марри Дж. Нелинейные дифференциальные уравнения. Лекция о моделях. — М.: Мир, 1983.

Романовский Ю. М., Степанова Н. В., Черпавский Д. С. Математическая биофизика. — М.: Наука, 1984.

И. Эпштейн, К. Кастин, П. де Кеппер, М. Орбан КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ, «В мире науки», 1983, № 5, с. 72.

Книги издательства „Мир“

Л. Хаттон,

М. Уэрдингтон, Дж. Мейкин

ОБРАБОТКА СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

Перевод с английского

Книга известных английских геофизиков является превосходным примером использования методов спектрального анализа временных рядов при обработке сейсмических данных. Авторы демонстрируют виртуозное использование методов фильтрации, прогноза, корреляционного анализа многомерных рядов в исключительно сложных практических ситуациях. В книге достаточно компактно и в то же время полно изложены теоретические основы практически всех этапов цифровой обработки сейсмических данных, при этом изложение ведется с самых современных позиций. Приводятся также сведения о технических средствах выполнения обработки, причем акцент делается именно на тех вопросах, которые важны с точки зрения обработки геофизических данных. Рассматриваются вопросы выполнения миграционных преобразований сейсмических данных, основные понятия об обратных задачах в сейсмологии и ряд методов их решения. Приводится математическая постановка задач по разделению восходящих и нисходящих волн при ВСП, коррекции остаточных статических поправок и восстановлению распределения скоростей.

1989, 25 л. Цена 5 р. 30 к.

Предварительные заказы направляйте в магазины, распространяющие научно-техническую литературу до 1 июля 1988 г.

Издательство заказы не принимает.



ПОЛНОТА И ПЛОДОВИТОСТЬ

MENSTRUAL CYCLES: FATNESS AS A DETERMINANT OF MINIMUM WEIGHT FOR HEIGHT NECESSARY FOR THEIR MAINTENANCE OR ONSET. Rose E. Frisch and Janet W. McArthur in *Science*, Vol. 185, No. 4155, pages 949-951; September 13, 1974.

HYPOTHALAMIC DYSFUNCTION IN SECONDARY AMENORRHEA ASSOCIATED WITH SIMPLE WEIGHT LOSS. Robert A. Vigersky, Arnold E. Andersen, Ronald H. Thompson and D. Lynn Loriaux in *The New England Journal of Medicine*, Vol. 297; No. 21, pages 1141-1145; November 24, 1977.

POPULATION, FOOD INTAKE, AND FERTILITY. Rose E. Frisch in *Science*, Vol. 199, No. 4324, pages 22-30, January 6, 1978.

EFFECTS OF PHYSICAL ACTIVITY ON REPRODUCTIVE FUNCTION AND DEVELOPMENT IN MALES. Stephen R. Wall and David C. Cumming in *Seminars in Reproductive Endocrinology*, Vol. 3, No. 1, pages 65-80; 1985.

FATNESS, MENARCHE, AND FEMALE FERTILITY. Rose E. Frisch in *Perspectives in Biology and Medicine*, Vol. 28, No. 4, pages 611-633; Summer, 1985.

НА ПОРОГЕ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ТРАНЗИСТОРОВ

LIMITS TO PERFORMANCE OF VLSI CIRCUITS. R. T. Bate in *VLSI Handbook*, edited by Norman G. Einspruch. Academic Press, 1985.

REPORT ON ARTIFICIALLY STRUCTURED MATERIALS. National Research Council. National Academy Press, 1985.

PROSPECTS FOR QUANTUM INTEGRATED CIRCUITS. R. T. Bate, G. A. Frazier, W. R. Frenley, J. W. Lee and M. A. Reed in *Proceedings of the SPIE* (International Society for Optical Engineering), Vol. 792, pages 26-35; 1987.

OBSERVATION OF DISCRETE ELECTRONIC STATES IN A ZERO-DIMENSIONAL SEMICONDUCTOR NANOSTRUCTURE. M. A. Reed, J. N. Randall, R. J. Aggarwal, R. J. Matyi, T. M. Moore and A. E. Wetsel in *Physical Review Letters*, in press.

ДРЕВНЕРИМСКИЙ ПОРТ КОССА

THE ANCIENT COMMERCIAL AMPHORA. Elizabeth Lyding Will in *Archaeology*, Vol. 30, No. 4, pages 264-270; July, 1977.

ANCIENT TRADE AND SOCIETY. Lionel Casson. Wayne State University Press, 1984.

GREEK AND ROMAN MECHANICAL WATER-LIFTING DEVICES: THE HISTORY OF A TECHNOLOGY. John P. Oleson. University of Toronto Press, 1984.

THE ROMAN PORT AND FISHERY OF COSA: A CENTER OF ANCIENT TRADE. Anna M. McCann et al. Princeton University Press, 1985.

НАУКА ВОКРУГ НАС

BOWLING FRAMES: PATHS OF A BOWLING BALL. D. C. Hopkins and J. D. Patterson in *American Journal of Physics*, Vol. 45, No. 3, pages 263-266; March, 1977.

ЗАНИМАТЕЛЬНЫЙ КОМПЬЮТЕР

MICROCOMPUTER DISPLAYS, GRAPHICS, AND ANIMATION. Bruce A. Artwick. Prentice-Hall, Inc., 1985.

В МИРЕ НАУКИ

Подписано в печать 20.04.88.
По оригинал-макету. Формат 60 × 90 1/8.

Гарнитуры таймс, гелиос.

Офсетная печать.

Объем 6,50 бум. л.

Усл.-печ. л. 13,00.

Уч.-изд. л. 15,83.

Усл. кр.-отт. 52,36.

Изд. № 25/6063. Заказ 271.

Тираж 24720 экз. Цена 2 р.

Издательство «Мир»

Набрано в Межиздательском фотонаборном центре издательства «Мир»

Типография В/О «Внешторгиздат»

Государственного комитета СССР

по делам издательств,

полиграфии и книжной торговли.

127576, Москва, Илимская, 7



ВИРУСОЛОГИЯ.
МЕТОДЫ
Перевод с английского



Книга английских авторов дает подробные методики для работы с вирусами животных, представляющими интерес в качестве возбудителей заболеваний либо инструментов для исследования проблем молекулярной и клеточной биологии. Каждый раздел включает подробное описание методов выращивания вирусов определенной группы, способы концентрации и очистки, определение биологи-

ческой активности. Приводятся соответствующие методики работы с новорожденными мышами, куриными эмбрионами, насекомыми, различными клеточными культурами. Несмотря на небольшой объем, книга охватывает основные приемы работы с вирусами животных.

Для вирусологов, генетиков, молекулярных биологов, генных инженеров.

1988, 22 л. Цена 2 р. 10 к.



В следующем номере:



КОМПЬЮТЕРЫ И МУЗЫКА

МЕХАНИЗМ АУТОИММУННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

МЕМБРАННЫЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ ЧЕРНЫХ ДЫР

ЭНЕРГОЭКОНОМИЧНЫЕ ЗДАНИЯ

КАК СВЕТ ВЛИЯЕТ НА ГЕНЫ У РАСТЕНИЙ

СПИНОВЫЕ ЭФФЕКТЫ В ГАЗАХ

ПОВЕДЕНИЕ УСАТЫХ КИТОВ

НАЧАЛО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЗООЛОГИИ:

ОПЫТЫ АБРААМА ТРАМБЛЕ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РАЗРЯДЫ НА КУХНЕ

ДРЕВНИЙ ВЕРЕВОЧНЫЙ КОМПЬЮТЕР