

В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN

Издание на русском языке



Март **3** 1991

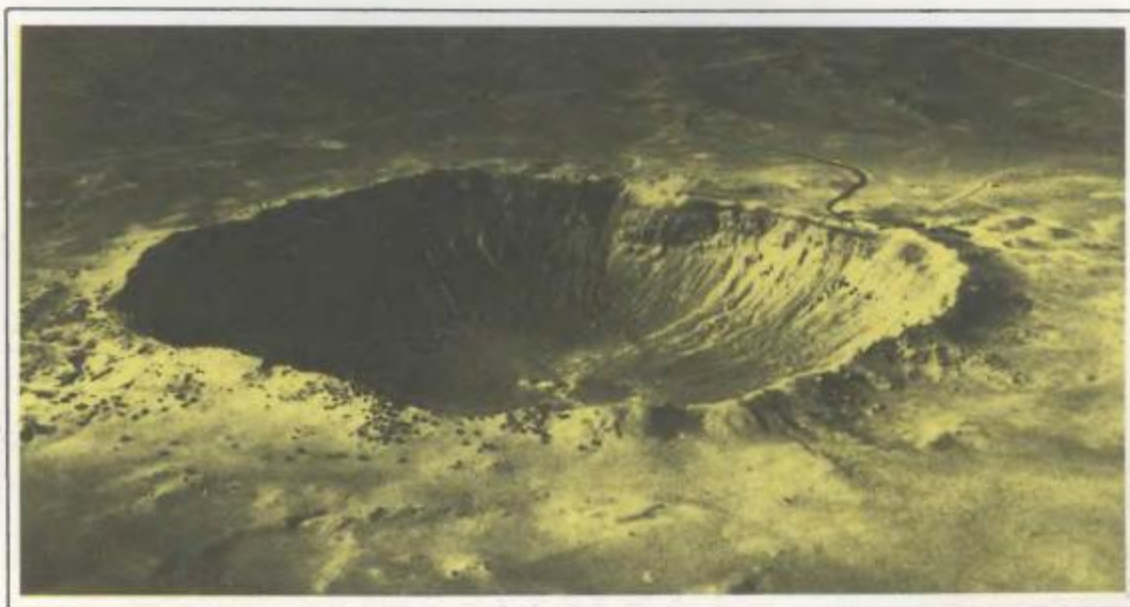
САМООРГАНИЗОВАННАЯ
КРИТИЧНОСТЬ

Книги издательства „Мир“

Х. Мелош

ОБРАЗОВАНИЕ УДАРНЫХ КРАТЕРОВ: ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

Перевод с английского



Монография известного специалиста из США впервые в мировой литературе рассматривает ударное кратерообразование как геологический процесс. В ней подробно освещены физические аспекты этого явления: охарактеризованы скорости столкновений, приведены эффекты при ударах под разными углами к поверхности мишени, рассмотрено перераспределение энергии в системе ударник—мишень—продукты удара. Прекрасные иллюстрации позволяют сравнивать экспериментальные данные и геологические наблюдения на Земле и других планетах Солнечной системы.

Содержание: Темы изучения. Морфология кратеров. Волны напряжения в твердых веществах. Механика кратерообразования. Эжективные отложения. Масштабные соотношения в размерах кратеров. Мультикольцевые впадины. Кратерные ландшафты. Взаимодействие с атмосферой. Образование ударных кратеров и планетная эволюция.

Для геологов, планетологов, петрологов и специалистов по механике грунтов, изучающих метеоритные кратеры.

1992 г. 30 л. Цена 6 р. 30 к.

Эту книгу вы сможете заказать в магазинах научно-технической литературы после поступления тематического плана издательства на 1992 г. в апреле—мае 1991 г.



В МИРЕ НАУКИ

Scientific American · Издание на русском языке

ИЛЛЮСТРИРОВАННЫЙ ЖУРНАЛ

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

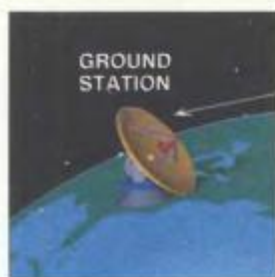
МОСКВА «МИР»

№ 3 · МАРТ 1991

В номере:

СТАТЬИ

(Scientific American, January 1991, Vol. 264, No. 1)



6 Будущее космической разведки

Джеффри Т. Ричелсон

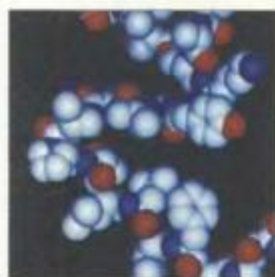
Вслед за сверхдержавами, активно ведущими разведку из космоса, запуск спутников-шпионов планируют производить и другие страны. Интенсивное наращивание разведывательных средств в космосе усложнит международные отношения в следующем столетии



16 Самоорганизованная критичность

Пер Бак, Кан Чен

Системы с большим количеством взаимодействующих элементов естественным образом эволюционируют к критическому состоянию, в котором даже малое событие может привести к катастрофе. Явление самоорганизованной критичности объясняет динамику землетрясений, экономических рынков и экосистем



26 Проблема сворачивания полипептидной цепи белков

Фредерик М. Ричардс

Согласно теории, все, что необходимо знать для предсказания характера укладки полипептидной цепи белка в биологически активную структуру, — это последовательность образующих его аминокислот. Почему, однако, не удается применить эту теорию на практике?



36 Строительство флорентинского собора

Густина Скалья

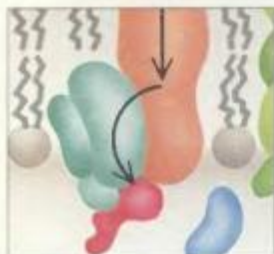
Восьмигранный купол собора Санта-Марии дель Фьоре, увенчанный фонарем, шаром и крестом, — уникальное явление в архитектуре. Сооружение этого собора явилось значительным достижением в развитии инженерного искусства и строительной техники раннего Возрождения



44 Миры иных звезд

Дейвид Ч. Блэк

Теория и данные наблюдений позволяют предположить, что планетные системы, подобные нашей, должны быть широко распространены во Вселенной. Астрономы близки к обнаружению планет, которые могут обращаться по орбитам вблизи некоторых ближайших звезд



52 Аспирин

Джералд Вейсманн

До сих пор еще не полностью выяснены механизмы разнообразного действия этого старинного препарата и близких ему соединений



60 Козволюция кукушки и ее хозяев

Николас Б. Дейвис, Майкл Брук

Кукушки размножаются за счет других птиц, подкладывая в их гнезда свои яйца. Такая стратегия вызывает эволюционную «гонку вооружений» между паразитом и его хозяином



68 ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Суперкомпьютеры: архитектура и возможности

Элизабет Коркоран

Смело отказываясь от традиционных конструкций, архитекторы суперкомпьютеров соревнуются в создании мощных машин, способных преобразить науку

РУБРИКИ

4 Об авторах

5 50 и 100 лет назад

14, 24, 34, 83,

86 Наука и общество

80 Занимательная математика

84 Книги

102 Эссе

103 Библиография

SCIENTIFIC AMERICAN

Jonathan Piel
EDITOR

John J. Moeling, Jr.
PUBLISHER

BOARD OF EDITORS

Alan Hall, Michelle Press
Philip M. Yam

Timothy M. Beardsley

Elizabeth Corcoran

Deborah Erickson

Marguerite Holloway

John Horgan

Philip Morrison (BOOK EDITOR)

Corey S. Powell

John Rennie, Philip E. Ross

Ricki L. Rusting, Russell Ruthen

Gary Stix, Paul Wallich

Samuel L. Howard

ART DIRECTOR

Richard Sasso

VICE-PRESIDENT

PRODUCTION AND DISTRIBUTION

SCIENTIFIC AMERICAN, INC.

Claus-Gerhard Firchow

PRESIDENT AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER

Dr. Pierre Gerckens

CHAIRMAN OF THE BOARD

Gerard Piel

CHAIRMAN EMERITUS

© 1991 by Scientific American, Inc.

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

В МИРЕ НАУКИ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
С. П. Капица

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА
Л. В. Шепелева

НАУЧНЫЕ РЕДАКТОРЫ
З. Е. Кожанова, О. К. Кудрявов,
Т. А. Румянцев, А. М. Смотров,
А. Ю. Краснопецев, А. В. Белых

ЛИТЕРАТУРНЫЙ РЕДАКТОР
О. В. Мошкова

ХУДОЖЕСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР
С. К. Аносов

ЗАВЕДУЮЩАЯ РЕДАКЦИЕЙ
Л. И. Желуховцева

РУКОВОДИТЕЛЬ ГРУППЫ ФОТОАБОРА
В. С. Галкин

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР
А. В. Лыткина

КОРРЕКТОР
Р. Л. Вибке

ОФОРМЛЕНИЕ ОБЛОЖКИ РУССКОГО ИЗДАНИЯ
М. Г. Жуков

ШРИФТОВЫЕ РАБОТЫ
В. В. Ефимов

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

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

На обложке

САМООРГАНИЗОВАННАЯ КРИТИЧНОСТЬ

На обложке изображена часть системы, состоящей из более 2000 костяшек домино. Костяшки валятся, демонстрируя явления субкритичности, критичности и сверхкритичности. В системе, находящейся в субкритическом состоянии, длинная цепная реакция пойдет только в том случае, если на систему подействовать мощной силой. В системе, находящейся в критическом состоянии, катастрофа может произойти, даже если повалить одну костяшку. В сверхкритической системе мощные цепные реакции происходят почти всегда. Для того, чтобы установить все костяшки, исследователям нужно было свыше 15 ч (см. статью Пер Бака и Кан Чена «Самоорганизованная критичность» на с. 16).

Иллюстрации

ОБЛОЖКА: ФОТО — Quesada/Burke

СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК
7	Loral Corp.		Ghiberti, unpublished manuscript BR 228, Biblioteca Nazionale, Florence	68-69	Robert B. Wilhelmson, National Center for Supercomputing Applications; Joe Towers, Weather-Stock (вставка)
8-11	Joe Lertola				
12	William E. Burrows, New York University	40	George Retseck (вверху), Brunelleschi, by Peiro Sanpaolesi, plate X, Club del Libro, Milan (внизу)	70-71	Peter Ray, Florida State University (вверху слева), Joseph B. Klemp, National Center for Atmospheric Research (вверху в середине), Robert B. Wilhelmson, National Center for Supercomputing Applications (вверху справа), Jason Kuffer (внизу)
17	Quesada/Burke and Domino F/X	41	George Retseck		
18	Eric A. Myers, University of Texas at Austin	42	Leonardo da Vinci: Engineer and Architect, Montreal Museum of Fine Arts, detail of plate III, from the Bartolini Salimbeni Collection, Florence		
19	John R. Deecken			72	Joe Lertola
20	Glenn A. Held, IBM Thomas J. Watson Research Center	44-48	Andrew Christie	74	David Hessler, University of California, San Diego
21	John R. Deecken	49	Anneila I. Sargent and Steven Beckwith, Owens Valley Radio Interferometer	75	Thinking Machines Corp.
22	Galen Rowell/Mountain Light	52	Andrew Christie	77	Michael Goodman
26-27	Frederic M. Richards and Paul E. Vogt, Yale University	53	Pamela J. Harper	81	Reprinted from Computers, Pattern, Chaos, and Beauty, by Clifford A. Pickover
28	George V. Kelvin	55-58	Dana Burns-Pizer		
29	George V. Kelvin; omega turn courtesy of George Rose, Pennsylvania State University	61	Michael Leach, Oxford Scientific Films/Animals		
30	George V. Kelvin; courtesy of Jane S. Richards, Duke University	62-64	Patricia J. Wynne		
31-32	George V. Kelvin	65	Oxford Scientific Films/Animals (вверху), Ian Wyllie, Monk's Head Experimental Station, Huntingdon, England (внизу)		
33	Jay W. Ponder, Washington University				
36-37	Mike Kagan, Monkmeyer Press				
38	Gaetano Barone, Monkmeyer Press				
39	Zibaldone, Buonaccorso	66	Patricia J. Wynne		

Об авторах

Jeffrey T. Richelson "The Future of Space Reconnaissance" (Джеффри Т. Ричелсон «Будущее космической разведки») — консультант при Национальном архиве по вопросам безопасности США в Вашингтоне. Степень доктора философии в области политологии получил в 1975 г. в Рочестерском университете и затем преподавал в Техасском университете в Остине и в Американском университете в Вашингтоне. Ричелсон — автор шести книг по вопросам разведки и шпионажа, в том числе недавно выпущенной издательством «Харпер энд Роу» книги "America's Secret Eyes in Space: The U. S. Keyhole Spy Satellite Program" («Невидимые глаза Америки в космосе: программа спутниковой разведки США»).

Per Bak, Kan Chen "Self-Organized Criticality" (Пер Бак, Кан Чен «Самоорганизованная критичность») совместно изучают самоорганизованную критичность с 1988 г. Бак — старший научный сотрудник Брукхейвенской национальной лаборатории. В 1974 г. он получил степень доктора философии в области физики в Техническом университете Дании. Работая в NORDITA Denmark, Исследовательском центре им. Уотсона корпорации IBM и Копенгагенском университете, он занимался статистической физикой, динамическими системами (хаосом, проводниками малой размерности и квазикристаллами). Недавно был избран в Датскую академию наук. Чен — докторант в Университете Саймона Фрейзера в Британской Колумбии. В 1983 г. окончил Университет науки и техники в Китае, а в 1988 г. получил степень доктора философии в области физики в Университете шт. Огайо. В качестве приглашенного исследователя в Брукхейвенс изучал самоорганизованную критичность и процессы динамической оптимизации.

Frederic M. Richards "The Protein Folding Problem" (Фредерик М. Ричардс «Проблема сворачивания полипептидной цепи белков») — профессор молекулярной биофизики и биохимии Йельского университета. Ричардс стал сотрудником этого университета в 1955 г., через три года после получения степени доктора наук в Гарвардском университете.

Gustina Scaglia "Building the Cathedral in Florence" (Густина Скалья «Строительство флорентинского собора») — занимается изучением чертежей меха-

низмов, сконструированных Филиппо Брунеллески, Леонардо да Винчи и Франческо Мартини. До недавнего времени преподавала историю искусств и археологию в Куинз-колледже Нью-Йоркского университета. Скалья родилась в Гластонбери, шт. Коннектикут. В 1958 г. получила степень доктора философии в Институте изобразительных искусств Нью-Йоркского университета. Исследовала чертежи механизмов, сконструированных Брунеллески, написала диссертацию, а затем книгу, в которых представлены результаты анализа этих чертежей. Недавно Скалья завершила работу над книгой (которая будет опубликована издательством Jekh University Press), посвященную трудам Франческо Мартини (1439—1501 гг.) — инженеру из Сиены. Сиенский университет в этом году намерен особо отметить заслуги Мартини во время празднования своего 750-летия.

David C. Black "Worlds around Other Stars" (Дейвид Ч. Блэк «Миры иных звезд») проводит обширные исследования в области теоретической астрофизики и физики планет, в основном изучая процессы формирования звезд и планетных систем. Блэк получил степень доктора философии в области физики в Университете шт. Миннесота. С 1972 по 1988 г. он работал в Эймском исследовательском центре Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА), затем был назначен на свой нынешний пост директора Института Луны и планет в Хьюстоне. Блэк исследовал состав инертных газов в метеоритах; он первым определил, что в метеоритах содержится вещество, возникшее за пределами Солнечной системы.

Gerald Weissmann "Aspirin" (Джералд Вейсманн «Аспирин») — профессор медицины в Медицинской школе Нью-Йоркского университета, в котором он также руководит ревматологическим отделением медицинского центра, где ведет исследования по молекулярной биологии воспалительной реакции. Получив степень доктора медицины, он занимался биохимическими исследованиями в Нью-Йоркском университете и клеточной биологией в Научно-исследовательской лаборатории Стрейнджуэйза в Кембридже (Великобритания). Возглавлял Американский ревматологический колледж, был президентом Гарвеевского общества. Вейсманн

является главным редактором изданий "MD Magazine", "Inflammation" и "Advances in Inflammation Research"; а также часто пишет для "Hospital Practice" и "New-York Times". Его последняя книга — сборник эссе под названием "The Doctor with Two Heads".

Nicholas B. Davies, Michael Brooke "Coevolution of the Cuckoo and its Hosts" (Николас Б. Дейвис, Майкл Брук «Козволюция кукушки и ее хозяев») работают в Кембриджском университете. Дейвис читает в университете лекции по зоологии, является членом ученого совета Пембрук-Колледжа. Начал свою карьеру лаборантом в Институте Эдварда Грэя при Оксфордском университете. Опубликовал несколько работ по вирушкам, трясгузкам и жабам. Брук ранее служил смотрителем Скокхольмской орнитологической станции у берегов Уэльса (Великобритания), где изучал малого буревестника. Затем работал в заповеднике на Сейшельских островах. Позже перешел на исследовательскую работу в Оксфордский университет, в настоящее время работает в Кембриджском университете старшим научным сотрудником.

Книги издательства „Мир“

Дж. Садуорс, А. Тилли
СЕРНОНАТРИЕВЫЕ
АККУМУЛЯТОРЫ

1988 г. Цена 5 р. 80 к.

ЭЛЕКТРОНИКА СБИС.
ПРОЕКТИРОВАНИЕ
МИКРОСТРУКТУР

Под ред. Н. Айнспрука
1989 г. Цена 1 р. 70 к.

Эти книги вы можете получить наложенным платежом, направив заказ по адресу: 191040 Ленинград, Пушкинская ул., 2, магазин № 5 «Техническая книга»





ЯНВАРЬ 1941 г. "Нобелевская премия присуждается с 1901 г., и большинство ее лауреатов — представители Германии. Но в последнее десятилетие по оценкам, учитывающим численность населения страны, на первом месте по числу лауреатов стоит Швейцария (465%), затем следуют Голландия (217%), Великобритания (175%), Австрия (162%), Германия (135%) и США (78%); ниже нас в этом списке находятся Франция (44%) и Италия (22%). Однако всего лишь десятилетие назад наши достижения были более чем в 4 раза ниже и составляли 18%".

"Достигнуты обнадеживающие результаты в лечении застарелых случаев шизофрении — наиболее распространенного психического заболевания. Об этом свидетельствуют проведенные по новой методике операции, в ходе которых перерезались нервные волокна лобных долей головного мозга. Такое хирургическое вмешательство известно как префронтальная лейкотомия, что означает рассечение белого вещества полушарий большого мозга, и автором ее является д-р Э. Монис из Испании. В Соединенных Штатах такие операции стали проводиться благодаря усилиям д-ров У. Фримана и Дж. Уоттса из Медицинской школы Университета Джорджа Вашингтона".

"Охотники, как и стрелки по движущимся мишеням, ведут цель и стре-

ляют с упреждением из оружия, находящегося почти в неподвижном положении. Летчикам приходится вести огонь по истребителям, летящим со скоростью до 650 км/ч, находясь в самолетах, имеющих примерно такие же скорости. Стрелок, ведущий, например, огонь из самолета при скольжении на крыло, должен учитывать, что его системы оружия перемещаются в трех направлениях одновременно: вперед, в сторону и вниз. Поэтому стрелки пользуются прицелами, в которых центр смещается в зависимости от направления спутной струи за воздушным винтом. Однако существует еще и такое явление, как "эффект Магнуса", нейтрализовать воздействие которого не позволяет ни один прицел. Этот эффект обусловлен вращением пули по часовой стрелке при выходе из ствола оружия. Если стрелок поворачивает оружие влево и открывает огонь, то в результате "двойного" вращения пули стремятся уйти вниз, подобно теннисному мячу при крутом ударе "топ-спин". И наоборот, при повороте вправо пули стремятся вверх, как мяч для игры в гольф, летящий с обратным вращением".

"Звуковоспроизводящую систему для фильма Уолта Диснея "Фантазия" нельзя использовать на стандартном оборудовании, которым сегодня оснащены кинотеатры. Звуковой диапазон при обычном озвучивании фильма составляет примерно 35 дБ. Диапазон звучания симфонического оркестра — около 70 дБ. В новой системе, получившей название "Fantasound", этот диапазон составляет около 75 дБ. На киноплёнке обычного фильма запись звука нанесена на узкую продольную полосу. Такая звуковая дорожка имеется и в

фильме "Фантазия", но она предназначена только для использования в крайних случаях. Качество звучания обеспечивается за счет второй стандартной киноплёнки, которая проходит через специальное звуковоспроизводящее устройство. Работа этого аппарата точно синхронизирована с демонстрацией фильма. На второй или чисто звуковой плёнке размещены четыре отдельные звуковые дорожки".



ЯНВАРЬ 1891 г. "В течение нескольких лет изобретатели бились над созданием миниатюрного устройства, которое позволяло бы фотографировать незаметно для окружающих. И вот создан прибор, который, вероятно, будет иметь огромный успех. Речь идет о галстук с булавкой: булавка — объектив, а галстук — фотоаппарат. Когда кто-нибудь подходит к вам ближе 1 метра и заводит с вами разговор, вы нажимаете на резиновую грушу, спрятанную у вас в кармане и фотографируете вашего собеседника".

"Д-р Генрих Шлиман родился в 1822 г. и рано начал проявлять склонность к изучению греческого языка. Говорят, что еще мальчиком он поставил перед собой цель — найти Трою. В молодости Шлиман занялся коммерцией, и, поскольку фортуна была благосклонна к нему, он в итоге заработал целое состояние. Всю последующую жизнь он посвятил раскопкам на территории Греции и Малой Азии. В 1874 г. вышла его работа "Троя и ее руины", в которой содержались результаты раскопок, проведенных им на месте расположения древней Трои. Увлечение античностью отразилось также и на семейной жизни Шлимана: его жена была гречанкой; в семье говорили на греческом языке и даже прислуга носила греческие имена. Его дети были названы Агамемнон и Андромах. В ходе своих странствий Шлиман оказался в Калифорнии в то время, когда этот штат был включен в состав США. Таким образом он стал гражданином Соединенных Штатов. Смерть настигла археолога 27 декабря в итальянском городе Неаполе".

"Эти паровозы построены на заводах Baldwin Locomotive Works в Филадельфии и внешне весьма существенно отличаются от обычного локомотива. Вес каждого из них составляет 26 тонн. Они предназначены для работы при уклоне 16° и приводятся в движение посредством зубчатого барабана, входящего в зацепление со специальными пазами на рельсах".



Локомотив "Pike's Peak"

Будущее космической разведки

Вслед за сверхдержавами, активно ведущими разведку из космоса, запуск спутников-шпионов планируют производить и другие страны.

Интенсивное наращивание разведывательных средств в космосе усложнит международные отношения в следующем столетии

ДЖЕФФРИ Т. РИЧЕЛСОН

ЗА ПОСЛЕДНИЕ тридцать лет США и Советский Союз, используя свои достижения в развитии ракетостроения, а также новейшие разработки в материаловедении и электронике, создали серию спутников, предназначенных для разведывательных целей. В настоящее время около 20 таких космических аппаратов вращаются на околоземных и геосинхронных орбитах. Казалось бы, что ослабление напряженности в отношениях между сверхдержавами, объединение Германии и распад военного блока стран — участниц Варшавского договора повлекут за собой снижение числа разведывательных спутников. Однако имеются свидетельства того, что количество разведывательных космических аппаратов в ближайшее десятилетие будет неуклонно расти, и, вероятно, довольно быстрыми темпами.

Одна из причин, объясняющих такой рост, состоит в том, что, несмотря на потепление советско-американских отношений, как США, так и СССР будут продолжать широкомасштабный сбор разведывательной информации. Спутники будут использоваться для наблюдения за развитием военной техники и соблюдением договоров о контроле за вооружениями; кроме того, в последнее время появился ряд новых объектов для наблюдения из космоса. Как показали последние события в зоне Персидского залива, региональные «горячие точки» представляют собой очаги постоянной опасности. Любая страна, в распоряжении которой имеется спутник-шпион, может использовать его для наведения оружия и прослушивания из космоса военных линий связи противника. В то же время с помощью спутников страны смогут более точно оценивать военную угрозу и, таким образом, предотвращать потенциальную опасность. В результате многочисленные «глаза и уши» различных стран — враждебных, дру-

жественных и нейтральных — вскоре будут оказывать существенное влияние на развитие международных отношений.

Разведывательная аппаратура, которой будут оснащены спутники большинства стран, вряд ли сможет соперничать с американской. Сведения, содержащиеся в открытых публикациях, а также в заявлениях военных экспертов и бывших сотрудников разведки, говорят о том, что спутниковая разведка США, уже более 30 лет являющаяся составной частью разведывательного арсенала, в настоящее время достигла высокого технического уровня. По мнению экспертов, ежегодные расходы США на космическую разведку, по-видимому, составляют около 5 млрд долл.; всего же с 1960 г., когда США приступили к запуску разведывательных спутников с оптической аппаратурой, расходы министерства обороны оцениваются в 100 млрд долл.

Первые разведывательные спутники были оснащены аппаратурой для получения фотоснимков земной поверхности. Сфотографировав какой-либо объект, спутник выстреливал специальную капсулу с отснятой пленкой. С помощью парашюта капсула опускалась на землю или перехватывалась на большой высоте военно-транспортным самолетом, таким как «С-130». Доставленная на Землю фотопленка проявлялась и анализировалась сотрудниками разведывательных ведомств.

Спутники, возвращающие на землю отснятые фотоматериалы, позволили получить весьма важную и подробную информацию о советских и китайских стратегических силах, в том числе сведения о дислокации войск и расположении пусковых ракетных шахт. Вместе с тем использование таких спутников сопряжено с большими затратами в получении и обработке информации, что существенно снижает их эффективность в случае быстро-

развивающихся кризисных ситуаций. Например, фотопленка, полученная с орбиты незадолго до вторжения советских войск в Чехословакию 20 августа 1968 г., не содержала каких-либо указаний на готовящиеся боевые действия. В то же время на второй пленке, которая была отснята непосредственно перед вводом войск, а получена уже после этого события, была ясно видна концентрация советских войск вдоль границы. Мало кто из специалистов, занимающихся фоторазведкой, сможет забыть этот случай.

НЕСПОСОБНОСТЬ спутников, возвращающих на землю фотоматериалы, давать моментальную информацию, была основной причиной, по которой Соединенные Штаты отказались от их использования (последний такой спутник был запущен в 1984 г.) в пользу более сложных космических систем разведки. В 1976 г. США начали запуск спутников «KH-11». В этих спутниках оптическое изображение формируется на поверхности светочувствительного элемента, который преобразует световой сигнал переменной интенсивности в цифровой сигнал, передаваемый через ретрансляционный спутник на приемную станцию в Форт-Бельвуаре (шт. Виргиния). Из Форт-Бельвуара данные в реальном масштабе времени поступают в расположенный в Вашингтоне Национальный центр по дешифровке фотоизображений, принад-

РАДИОЛОКАЦИОННОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ залива Сан-Диего, полученное с борта самолета, дает представление о технических возможностях аппаратуры, установленной на спутнике «Lacrosse». Эта аппаратура позволяет получать снимки, близкие по качеству к фотографиям, сделанным в видимом свете.

лежащий ЦРУ, и одновременно в другие разведывательные управления США.

Появление спутников «КН-11», снабженных электронно-оптической аппаратурой, оказало сильное влияние на концепцию разведки в целом. Высокая скорость, с которой цифровой сигнал передается на землю, позволяет экспертам получать готовые изображения уже через несколько минут после того, как спутник «КН-11» прошел над объектом наблюдения. Президенту или министру обороны уже не нужно было ждать несколько дней, а то и недель, пока будут получены фотодокументы, свидетельствующие о том или ином событии. Обработка и анализ изображений, представляющие передачу их официальным лицам, занимают не более одного часа.

Кроме того, с появлением спутников «КН-11» США смогли значительно увеличить число объектов, находящихся под наблюдением из космоса. Двадцать лет назад, когда США использовали только спутники, возвращающие фотопленку, одной зарядки пленки хватало на съемку около 20 тыс. объектов (80% которых нахо-

дилось на территории стран советского блока и в Китае). Электронные средства получения и обработки информации, устанавливаемые на спутнике «КН-11», по существу превращают его в орбитальную телевизионную камеру. В настоящее время США имеют возможность вести наблюдения за 42 тыс. объектов, половина из которых расположена за пределами стран восточного блока и Китая.

Сейчас на околоземных орбитах с удалением от 270 до 450 км находятся два американских спутника «КН-11». Предполагается, что время жизни таких спутников составляет три-четыре года. Поэтому один из этих двух спутников прекратит свое существование в самое ближайшее время (он был запущен в октябре 1987 г.), а другой, видимо, будет работать до конца текущего года. Многие специалисты считают, что в идеальных условиях с таких спутников можно различать объекты, поперечный размер которых составляет 15 см, точные же статистические данные относительно разрешающей способности имеющейся на них аппаратуры являются закрытыми.

За время своего нахождения на ор-

бите спутники «КН-11» использовались для наблюдения за ходом строительства советского атомного авианосца и радиолокационной станции раннего обнаружения, а также за испытаниями нового бомбардировщика, который на Западе получил название «Blackjack». Кроме того, данные спутниковой разведки использовались для выбора взлетных и посадочных площадок при попытке проведения операции по освобождению заложников в Иране, для обнаружения ливийского завода по производству химического оружия в Рабте и слежения за предприятиями по производству ядерного оружия во всем мире.

НЕСМОТЯ НА ТО что спутники «КН-11» являются мощным разведывательным средством, они в то же время обладают двумя важными недостатками, существенно ограничивающими их применение. Оптическая аппаратура, которой они оснащены, может эффективно работать лишь в дневном свете; она непригодна для получения фотоснимков с высоким разрешением в ночное время суток. Кроме того, непреодолимым препятствием для фотоаппаратуры





является облачный покров, что затрудняет наблюдение за территориями Советского Союза и стран Восточной Европы, поскольку во многих районах этого региона небо закрыто облаками на протяжении 70% времени.

Один из способов преодоления указанных трудностей был опробован в декабре 1988 г., когда космический корабль многоразового использования «Атлантис» вывел на орбиту спутник, первоначально названный «Indigo», а впоследствии переименованный в «Lacrosse». (Изменение кодового названия США обычно производят по двум причинам: либо чтобы ввести в заблуждение Советский Союз, либо с целью восстановления режима секретности, если какое-либо кодовое название стало известно общественности.) На спутнике «Lacrosse» установлена аппаратура, аналогичная той, что имеется на борту межпланетной космической станции «Magellan», которая в настоящее время производит съемки поверхности Венеры. «Lacrosse» получает изображение не в естественном свете, а излучает в направлении земной поверхности пучок радиоволн, которые отражаются от объекта и вновь принимаются спутником. После этого бортовые системы спутника «Lacrosse» преобразуют полученную информацию в изображение объекта, которое с помощью цифровых сигналов передается через ретрансляционный спутник на базу Уайт-Сэндз в шт. Нью-Мексико.

Судя по информации, появляющейся в печати, разрешающая способность установленной на спутнике аппаратуры находится в пределах от одного до трех метров, что примерно в 10 раз выше, чем у станции «Magellan». В соответствии с имеющимися планами на орбите постоянно должны находиться два спутника «Lacrosse»; второй спутник США предполагают запустить в этом году.

Второй способ преодоления недостатков, присущих спутникам «КН-11», был опробован в августе 1989 г., когда космический корабль многоразового использования «Коламбия» вывел на орбиту фоторазведывательный спутник с аппаратурой, не имеющей себе равной по сложности. Этот спутник, в разведывательных органах называемый «Advanced КН-11», имеет большой запас топлива, что позволяет ему маневрировать на орбите и уходить от противоспутниковых систем протравки; кроме того, он может изменять орбиту полета с целью наблюдения за новыми объектами.

Судя по имеющимся сообщениям, спутник «Advanced КН-11», который в ранних отчетах ошибочно назывался «КН-12», оснащен также аппаратурой для получения изображений земной поверхности в инфракрасном диапазоне спектра, что позволяет проводить съемки в ночное время. Такая аппаратура к тому же дает возможность получать изображения в естественном цвете и тем самым выяв-

лять детали, невидимые при обычной съемке. Например, срезанный лиственный или травяной покров, используемый для маскировки, отличается по цвету от живой зелени. Что же касается разрешающей способности имеющейся на спутнике аппаратуры, то она, видимо, близка или даже несколько лучше разрешающей способности аппаратуры, установленной на спутнике «КН-11».

В феврале 1990 г. космический корабль «Атлантис» вывел на орбиту второй спутник «Advanced КН-11». Однако этот спутник, на котором к тому же были установлены антенны для перехвата радиосигнала связи и другой информации, быстро вышел из строя. Как сообщалось, в июне прошлого года ракета-носитель «Титан IV» вывела на орбиту новый аналогичный спутник.

В НАСТОЯЩЕЕ время США имеют на орбите два спутника «КН-11», два «Advanced КН-11» и один «Lacrosse». По словам одного из бывших сотрудников ЦРУ Соединенные Штаты планируют довести число спутников типа «Advanced КН-11» до трех, а «Lacrosse» — до двух, что позволит в полном объеме осуществить ту часть программы космической разведки США, которая касается фотографирования земной поверхности. В дополнение к спутникам-разведчикам предполагается также произвести запуск спутников-радиоперехватчиков, способных перехватывать самые раз-



личные сигналы, в том числе сигналы военной радиосвязи и данные телеметрических измерений.

Программу запуска спутников-радиоразведчиков США начали осуществлять в 1962 г., когда вывели на околоземную орбиту первый такой спутник. По имеющимся сведениям, эти спутники предназначались исключительно для перехвата радиолокационных сигналов Советского Союза, Китая и других потенциальных противников. В результате радиоперехвата США могли, например, устанавливать расположение радиолокационных станций противника и производить точное прицеливание, с тем чтобы в случае войны уничтожить их или вывести из строя путем создания радиопомех.

Наиболее полезными для разведывательных целей в мирное время могут оказаться радиоразведывательные спутники, выведенные на геосинхронную орбиту. Действительно, если спутник будет запущен на орбиту, удаленную от земной поверхности на расстояние 35 700 км, угловая скорость обращения спутника вокруг Земли окажется равной скорости вращения нашей планеты. В этом случае спутник будет как бы «висеть» над одной точкой земной поверхности.

Радиоантенны геосинхронного спутника могут принимать сигналы более чем с трети земной поверхности, постоянно прослушивая заданный диапазон частот или настраиваясь на определенные линии связи. Не-

прерывное наблюдение при помощи геосинхронных спутников позволяет засекать кратковременные неожиданные события, такие как испытания ракет, длящиеся не более 20—30 минут.

В 1970 г. США вывели на геосинхронную орбиту первый радиоразведывательный спутник под названием «Rhyolite» (впоследствии переименованного в «Aquascope»). С тех пор Соединенные Штаты произвели запуск еще четырех спутников «Rhyolite», четырех или пяти спутников «Vortex» (также радиоразведывательных, ранее носивших кодовое название «Chalet») и двух спутников «Magnum» (усовершенствованный вариант спутника «Rhyolite»).

Приемные станции в Пайн-Гэлле в Австралии, Менвит-Хилле в Великобритании и Бэд-Айблинге в Германии позволяют американским геосинхронным спутникам следить за радиосигналами многих стран. Принимаемая информация включает сигналы передвижных радиостанций, используемых во время военных учений, телеметрические данные, поступающие при испытании ракет, а также сигналы военной, правительственной и экономической связи. В настоящее время практически вся поверхность земного шара находится под наблюдением одного или двух спутников «Vortex» и двух спутников «Magnum».

СОВМЕСТНОЕ использование фото- и радиоразведывательных спутников дает США широкие возможности для проведения разведывательных операций. В годы «холодной войны» подобные спутники применялись США для определения количества и состава советских вооружений, для контроля за выполнением имеющихся соглашений, а также для слежения за возможными быстрыми перемещениями войск. В последнее время (судя по сообщениям средств массовой информации) фоторазведывательные спутники постоянно следили за иракскими войсками в районе Персидского залива: данные фотосъемки показали значительные передвижения военной техники, в том числе химического оружия и передвижных пусковых ракетных установок. Радиоразведывательные спутники осуществляли прослушивание систем связи противозащитной обороны Ирака, а также других линий военной связи. Фактически, как утверждает в прессе, именно полученные со спутника фотографии помогли убедить короля Саудовской Аравии Фахада разрешить высадку американских войск на территории его страны.

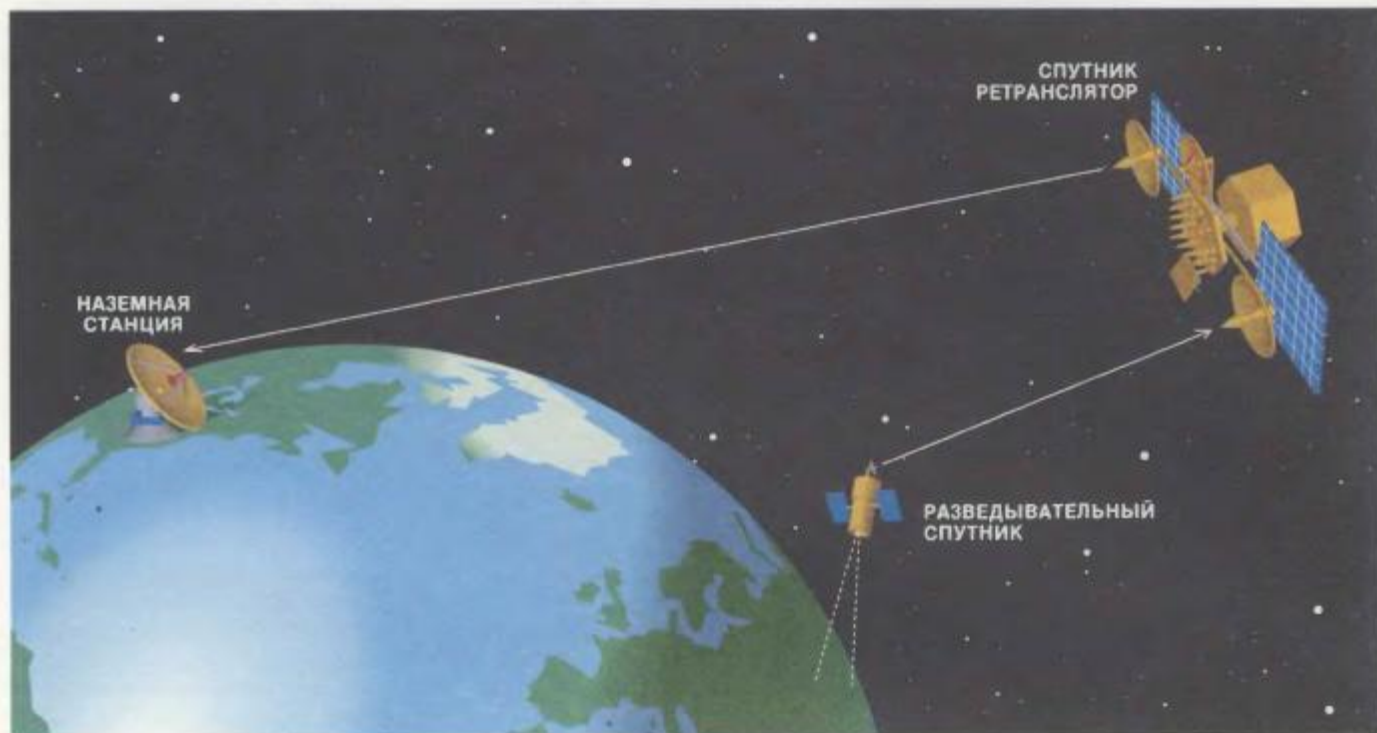
Кроме того, США использовали

спутники и для слежения за событиями невоенного характера — например, для контроля ситуаций во время стихийных бедствий. Так, во время катастрофы на Чернобыльской АЭС спутник «Vortex», наблюдавший за территорией западной части Советского Союза, зафиксировал повышенную интенсивность двусторонней радиосвязи и телефонных переговоров между военными частями, правительственными учреждениями и силами безопасности в окрестности нескольких сот километров от места аварии. Сопоставив перехваченную информацию с фотографиями, полученными со спутников «КН-11», на которых ясно виден разрушенный реактор и проведение дезактивационных мероприятий, США смогли оценить реальные масштабы катастрофы еще в то время, когда она только развивалась. Степень разрушений, а также пожар графитовых стержней в реакторе Соединенным штатам удалось установить задолго до того, как Советский Союз официально признал серьезность происшедшей аварии. Спутниковые данные позволили США заключить также, что расплавился лишь один реактор, а не два, как предполагалось вначале.

Разведывательные спутники применялись и для слежения за развитием внутренних конфликтов в различных странах, в том числе за выступлениями сторонников выхода из состава СССР и за столкновениями на межнациональной почве. С их помощью велись наблюдения за событиями в Пекине во время студенческой демонстрации на площади Тяньаньмень; тем самым была преодолена информационная блокада, которую пыталось установить китайское руководство.

СМОМЕНТА появления первых разведывательных спутников Советский Союз в создании систем космической разведки отставал от Соединенных Штатов. Однако в последние годы благодаря ряду технических достижений СССР удалось сократить свое отставание от США. Вплоть до конца 1982 г. Советский Союз использовал только спутники, возвращающие на землю отснятые фотоматериалы. В техническое оснащение этих спутников входит фотоаппаратура с широким полем зрения и системы, позволяющие получать снимки с высоким разрешением.

С декабря 1982 г. СССР произвел запуск нескольких спутников, способных передавать изображения в реальном масштабе времени. Как и американские «КН-11», советские спутники серии «Космос» преобразуют оптическое изображение в цифровые сигналы, передаваемые на землю через ре-



РЕТРАНСЛЯЦИОННЫЕ СПУТНИКИ, подобные тем, что входят в спутниковую систему слежения и ретрансляции данных, служат посредниками между передающими спут-

никами и наземными приемными станциями. Такие ретрансляторы пересылают направленный поток информации, что затрудняет ее перехват противником.

трансляционный спутник на геосинхронной орбите. Последние такие спутники «Космос 2007» и «Космос 2049» запущены соответственно в марте и ноябре 1989 г. Центральный приемный узел может находиться в поселке Ватулино в 50 км к юго-западу от Москвы, на территории, принадлежащей Главному разведывательному управлению (ГРУ) Генерального штаба СССР.

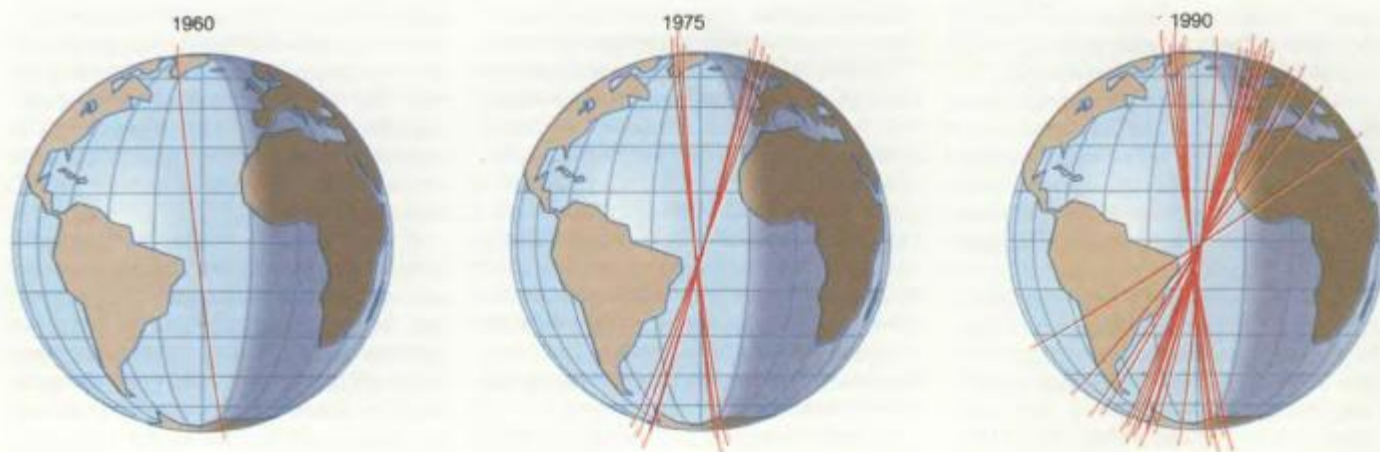
Специалисты в области советской спутниковой разведки полагают, что спутниковые системы использовались ГРУ для наблюдения за ходом военных столкновений в различных регионах земного шара, включая боевые действия на индо-пакистанской границе, военный конфликт в зоне Су-

эцкого канала (1973 г.) и вторжение американских войск в Гренаду. Кроме того, спутник третьего поколения «Космос 1343», оснащенный аппаратурой высокого разрешения, осуществлял, судя по его маневрам на орбите, наблюдение за базой Уайт-Сэндз в шт. Нью-Мексико, а также за посадочной площадкой, использовавшейся во время выполнения третьего полета космического корабля по программе «Спейс-шаттл» в 1982 г. Советские представители предложили желающим купить космические фотоснимки среднего разрешения, на которых, в частности, имеются изображения военной базы США в Форт-Райли (шт. Канзас), базы командования стратегических ВВС в Омахе и пу-

сковых установок межконтинентальных баллистических ракет США.

В течение большей части года на орбите находятся, как правило, три советских фоторазведывательных спутника (в основном таких, которые возвращают на землю отснятую фотопленку). В летние месяцы к ним могут добавляться еще два-три аппарата, что позволяет максимально использовать возможности съемки при большой продолжительности светового дня. Советские конструкторы предпочитают создавать много дешевых и простых спутников вместо нескольких сложных; среднее время существования на орбите спутников, возвращающих фотопленку, составляет от 14 до 44 суток. Спутники же,

УВЕЛИЧЕНИЕ МАСШТАБОВ СПУТНИКОВОЙ РАЗВЕДКИ



предназначенные для получения изображений в режиме реального времени, имеют значительно больший срок пребывания на орбите (более шести месяцев).

Таким образом, для поддержания непрерывных в течение года съемок земной поверхности ГРУ вынуждено запускать большее число спутников, чем это делают Соединенные Штаты. Так, в 1988 г. ГРУ произвело запуск 32 фоторазведывательных спутников (из которых лишь один способен давать изображения в реальном масштабе времени), а в 1989 г. был запущен 31 спутник.

ЕСЛИ в области фоторазведывательных спутников Советский Союз почти достиг уровня США, то в области создания спутников-радиоразведчиков он до сих пор намного отстает от Соединенных Штатов. В 1967 г., через пять лет после того, как США начали запускать спутники для радиоперехвата, Советский Союз стал выводить свои радиоразведывательные спутники на орбиты с удалением 650—800 км. Обращаясь на столь низких орбитах, спутник способен удерживать в своем поле зрения наблюдаемый объект весьма непродолжительное время и поэтому он малоэффективен в слежении за испытаниями ракет или в перехвате сигналов связи. Основная цель запуска таких спутников, по-видимому, сводилась к выявлению типа радиолокационных систем противника и их местоположения, включая те, которые попадали под действие Договора о противоракетной обороне, заключенного в 1972 г. В настоящее время в СССР имеются шесть радиоразведывательных спутников в космосе, выведенных на низкие околоземные орбиты.

В 1985 г., т. е. на 15 лет позже США, Советский Союз вывел на геосинхронную орбиту свой первый радиоразведывательный спутник «Космос 1738». Установлено, что этот советский спутник, равно как и два других, запущенных вслед за ним — «Космос 1961» и «Космос 2054», — находятся над западным полушарием на 14° западной долготы. Очевидно, что советский радиоразведывательный комплекс в Лурдсе на Кубе служит наземным центром управления, передающим поступающие сигналы в ГРУ.

Эти спутники могут получать информацию с большей части территории США и Южной Америки. Вероятно, они используются для перехвата телеметрической информации, передаваемой во время испытаний в Карибском бассейне баллистической ракеты «Trident D-5», запускаемой с

ОСНОВНЫЕ СОБЫТИЯ В ИСТОРИИ КОСМИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ

СТРАНА	ГОД	НАЗВАНИЕ СПУТНИКА	ОПИСАНИЕ СОБЫТИЯ
США	1960	<i>Corona Discoverer 14</i>	Первый фоторазведывательный спутник. Кассета с пленкой была успешно доставлена на Землю.
СССР	1962	<i>Космос 4</i>	Первый советский фоторазведывательный спутник. В 1965 г. СССР начал регулярный запуск спутников серии «Космос». В настоящее время в космосе постоянно присутствует 3—6 спутников.
США	1962	<i>«Ferrets»</i>	Запуск радиоразведывательных спутников на низкую орбиту для обнаружения радарных систем других стран.
СССР	1967	<i>Космос 148</i>	Радиоразведывательные спутники, аналогичные американским «Ferrets».
США	1970	<i>Rhyolite</i>	Первый радиоразведывательный спутник на геостационарной орбите. Такой спутник способен обзирать 1/3 земной поверхности.
КИТАЙ	1970	<i>China 1</i>	Первый китайский фоторазведывательный спутник.
США	1976	КН-11	Спутник с устройством на связанных зарядах для получения изображения в реальном масштабе времени. Способен регистрировать объекты размером 15 см.
СССР	1982	<i>Космос 1426</i>	Фоторазведывательный спутник, аналогичный «КН-11», но с меньшим разрешением.
СССР	1985	<i>Космос 1738</i>	Радиоразведывательный спутник на геостационарной орбите.
США	1988	<i>Lacrosse</i>	Спутник, формирующий изображение по отраженному сигналу. Способен разрешать объекты размером 1—3 м. В настоящее время имеет другое название.
ИЗРАИЛЬ	1988	<i>Ofeq 1</i>	Экспериментальный спутник, созданный с помощью ЮАР.
ФРАНЦИЯ ИТАЛИЯ ИСПАНИЯ	1993	<i>Helios</i>	Система из четырех фоторазведывательных спутников. Будет запущена в текущем десятилетии.

подводной лодки; не исключено также, что они предназначены для радиоперехвата сигналов, передаваемых по военным каналам радиосвязи Бразилии и Аргентины в ходе осуществления ими своих программ по созданию баллистических ракет и развитию ядерной энергетики.

НЕСМОТЯ на изменение политической ситуации в мире, обе сверхдержавы и впредь будут фотографировать ракетные шахты, места дислокации бомбардировщиков и строительства подводных лодок, военные базы и другие объекты на территории друг друга. Радиоразведывательные спутники также будут продолжать слежение за сигналами РЛС, перехватывать телеметрическую информацию, передаваемую при испытаниях ракет, прослушивать политические, военные и коммерческие каналы связи. Такое непрерывное слежение должно позволить каждой из держав фиксировать основные достижения в создании вооружений другой стороны, а также выявлять нарушения договоров по вооружениям, которые могут остаться незамеченными при проведении инспекций на местах.

Можно ожидать, что обе сверхдержавы будут уделять все большее внимание проблеме распространения вооружений. Чем чаще проводятся наб-

людения за уже известными военными объектами, тем больше вероятность не упустить из виду какое-либо значимое событие. Так, в результате непрерывного наблюдения со спутника «КН-11» удалось зафиксировать на старте аргентинскую ракету «Condor II», ожидающую проведения испытаний.

Кроме того, имеющаяся на спутниках аппаратура может быть ориентирована на поиск новых военных объектов. Например, американские спутники обнаружили в Ливии завод по производству химического оружия близ Рабта. Частые съемки земной поверхности позволяют зафиксировать появление новых объектов еще до того, как они вступят в строй.

С наступлением разрядки в международной напряженности между США и Советским Союзом они начали частичный обмен информацией, полученной с помощью разведывательных спутников. Так, в 1989 г. США предоставили СССР информацию о том, что со спутника «КН-11» в Северной Корее был обнаружен новый атомный реактор вблизи Пхеньяна; американская сторона сообщила также точные географические координаты реактора, что позволило советским спутникам сфотографировать его.

Имеющиеся в распоряжении раз-



СПУТНИКОВЫЕ СНИМКИ, представленные конгрессу США во время слушаний в 1984 г.; на них изображены советские самолеты МИГ-29 (слева) и СУ-27 (справа). По ошибке эти снимки были включены в отчет о слушаниях в конгрессе.

ных стран космические средства наблюдения могут служить целям международной безопасности, выполняя совсем иные функции: например, с их помощью возможен мониторинг непрерывно ухудшающейся экологической обстановки на планете. Американские и советские спутники могли бы значительно большую долю времени уделять съемкам пролитой в море нефти, источников загрязнения и последствий природных катастроф — например, разрушений в результате землетрясений.

ХОТЯ США и СССР доминируют в космической разведке, они все же не одиноки в этой области. В 1970 г. разведку из космоса стала вести Китайская Народная Республика. Ее достижения, конечно, намного скромнее, чем у США и СССР. Так, КНР еще только предстоит вывести на орбиту первый радиоразведывательный спутник. Фоторазведывательные же космические системы в этой стране, хотя медленно, но неуклонно, развиваются и совершенствуются. Первые космические снимки в Китае были сделаны 24 апреля 1970 г., когда на околоземную орбиту был запущен спутник весом около 160 кг с аппаратурой для фотографирования земной поверхности. К середине 70-х годов Китай уже располагал техническими возможностями для запуска спутников-фоторазведчиков весом до 4500 кг. Хотя масса полезной нагрузки при этом составляет примерно треть массы спутника «КН-11», такой спутник вполне пригоден для установки достаточно больших оптических систем.

С 1970 по 1989 г. в Китае было запущено 12 спутников по программе военной космической разведки. КНР обычно производит запуск не более одного спутника в год, причем запуски как правило производятся в конце лета или в начале зимы. Спутники выводятся на орбиты, с которых возможно наблюдение практически за

всей территорией земного шара, за исключением лишь самых северных частей Советского Союза, Канады и Скандинавии.

Китайские спутники в основном возвращали отснятую пленку на землю, где она проявлялась и анализировалась. В одном случае пленка была проявлена прямо на борту спутника и фотоизображения, считанные сканирующим устройством, были преобразованы в радиосигнал и переданы на землю. Как полагают американские разведывательные службы, Китай в настоящее время разрабатывает более совершенные космические системы, которые, по всей вероятности, будут подобны французскому спутнику «SPOT», предназначенному для наблюдений в коммерческих целях. Запуск нового спутника, оснащенного аппаратурой для преобразования получаемых изображений в цифровой сигнал, предполагается произвести в начале 90-х годов.

Территория Советского Союза и особенно та ее часть, которая граничит с КНР, была и остается главным объектом наблюдения китайских разведывательных спутников. Вьетнам и Индия, являвшиеся военными противниками Китая в прошлом, также будут объектом пристального внимания в будущем, как территории потенциальных противников. Не исключено также, что Китай будет проводить наблюдения за Камбоджей и Афганистаном — странами, в которых действуют антиправительственные группировки, получающие поддержку Китая.

ПОХОЖЕ, что меньшие страны, стремящиеся не отстать в техническом прогрессе от сверхдержав, также будут стремиться к использованию собственных систем космического наблюдения. При этом они руководствуются как чисто практическими, так и престижными соображениями. Даже те страны, которые яв-

ляются союзниками какой-либо сверхдержавы, зачастую не желают полагаться только на данные, получаемые со спутников их патроном. Так, Израиль решил создать собственную систему космической разведки в основном из-за неудовлетворенности зависимостью от американских данных, получаемых со спутников. Член кабинета министров Израиля, бывший начальник штаба Мордехай Гур выразил недовольство тем, что непосредственно перед началом вооруженного конфликта в зоне Суэцкого канала в 1973 г. США отказались предоставить Израилю полученные со спутников разведданные. Меир Амит, бывший руководитель израильской секретной службы «Моссад», считает, что его страна получает «крохи» той информации, которая поступает с американских спутников. Наличие собственных средств спутникового наблюдения позволит странам-участникам военных союзов проводить более независимые оценки международной ситуации и, кроме того, значительно поднимет их престиж как обладателей передовых технологий.

Имеющиеся в настоящее время коммерческие спутники не могут в полной мере удовлетворить требованиям, предъявляемым к средствам космической разведки. Аппаратура, которой оснащены такие спутники, имеет весьма низкое разрешение (от 10 до 30 м); кроме того, заказчик не может сколько-нибудь существенно влиять на процесс съемки. К тому же заказчик вынужден выдерживать суровую конкуренцию в борьбе за право проведения съемок, при этом он не может быть уверен в том, что его интересы будут сохранены в тайне.

Самолеты с большим потолком полета нельзя считать приемлемой альтернативой разведывательным спутникам. Проникновение самолета на чужую территорию всегда сопряжено с серьезными политическими последствиями; кроме того, такая акция всегда небезопасна. Многие страны сейчас имеют на вооружении весьма совершенные системы обнаружения и эффективные средства ПВО класса «земля-воздух». Разведка с самолета имеет и чисто технические недостатки: установленная на его борту аппаратура способна обзирать лишь небольшую площадь земной поверхности, а необходимость дозаправки самолета практически исключает возможность наблюдения за удаленными объектами. Израильским ВВС, например, было бы весьма затруднительно осуществлять постоянное наблюдение за передвижением сил противника на территории какого-нибудь

удаленного от его границ ближневосточного государства.

ТАКИМ ОБРАЗОМ, некоторые страны уже пришли к заключению, что выгоды, получаемые от развития средств космического наблюдения, вполне окупают связанные с этим немалые расходы, составляющие несколько сот миллионов долларов на один спутник. Многие страны близки к тому, чтобы стать обладателями средств космической разведки, либо активно рассматривают такую возможность. Во Франции в настоящее время эксплуатируется система «SPOT», позволяющая получать цветные изображения с разрешением 20 м, либо черно-белые изображения с разрешением 10 м. Хотя эта система предназначена для коммерческих целей (проведение съемок для геологической разведки, градостроительства, сельского хозяйства), французские военные ведомства используют ее и для разведывательных задач. В скором времени, однако, Франция выведет на орбиту спутниковую систему «Helios», специально предназначенную для сбора разведывательной информации.

В соответствии с имеющимися планами предполагается запуск четырех спутников «Helios» в течение 10 лет начиная с 1993 г. Эти спутники, как полагают специалисты разведслужбы США, будут оснащены аппаратурой высокого разрешения, созданной при участии Испании и Италии и способной различать объекты размером меньше бейсбольной биты.

Жак Боске, руководитель программ развития дистанционно управляемых вооружений и космической техники французского министерства обороны, заявил, что установка аппаратуры всех трех участвующих в программе стран явится серьезным испытанием для спутника «Helios». Франция вне всякого сомнения заинтересована в космических наблюдениях за территорией объединенной Германии и тех регионов на Ближнем Востоке и в Африке (как, например, республика Чад), где Франция имеет традиционные интересы. С помощью этой системы будет также проводиться точное прицеливание французских баллистических ракет с ядерными боеголовками. Кроме того, «Helios» будет осуществлять независимый контроль за соблюдением советско-американских договоров об ограничении различных типов вооружений. Италия, сильно обеспокоенная террористическими актами, возможно, включит в зону своего наблюдения некоторые страны Ближнего Востока. Цели, которые преследует Испа-

ния в программе «Helios», пока не вполне ясны.

Являясь объектом угроз со стороны многих своих ближневосточных соседей и испытывая неудовлетворенность данными, представляемыми Соединенными Штатами, Израиль начал осуществлять собственную программу создания средств космической разведки и в 1989 г. произвел запуск первого спутника «Offeq-1». Полагают, что экспериментальный вариант разведывательного спутника Израиль разработал совместно с Южно-Африканской Республикой. В начале марта 1990 г. Израиль вывел на орбиту с удалением 200 км в перигее и 1480 км в апогее спутник «Offeq-2».

Хотя израильские официальные лица и отрицают, что на этом спутнике весом 170 кг установлены какие-либо оптические приборы, специалисты в области космической техники и разведывательных систем не сомневаются, что «Offeq-2» есть опытный вариант фоторазведывательного спутника. С его помощью Израиль будет наблюдать из космоса за различными событиями в странах Ближнего Востока, в частности — за строительством завода по производству химического оружия в Ливии и за развертыванием в Саудовской Аравии ракет «CSS-2».

Индия, активно осуществляющая свою космическую программу, в ближайшие несколько лет введет в строй ракету-носитель «Polar Satellite Launch Vehicle». Эта ракета сможет доставлять на околоземные орбиты космические аппараты весом до 3150 кг, что вполне достаточно для запуска фоторазведывательного спутника. Для Индии, которая ведет давние пограничные споры с двумя соседними странами — Пакистаном и Китаем — космические снимки окажутся весьма полезными.

В 1987 г. Индия проводила крупномасштабные военные учения под кодовым названием Operation Brass Tacks вблизи границы с Пакистаном. Испытывая недоверие к Индии, Пакистан сконцентрировал у границы свои войска, создав тем самым вполне реальную военную угрозу. При наличии разведанных со спутника такую ситуацию можно было бы легко предупредить на самом раннем этапе дипломатическими средствами. Точно так же, когда индийские и китайские войска в 1986 г. сконцентрировались в долине Сумдоронг в местности Аруначел-Прадеш, то Индия, если бы она располагала снимками из космоса, могла бы оценить размеры, дислокацию и род воинских формирований, развернутых Пекином.

Если Индия выведет на орбиту фо-

торазведывательные спутники, то объектами ее наблюдения скорее всего станут пакистанские военные базы, предполагаемые центры подготовки террористов и, вне всякого сомнения, ядерные установки в Кахуте. Кроме того, Индия будет использовать спутниковую разведку для наведения своих баллистических ракет промежуточной дальности, имеющих кодовое название «Agni», (см. статью Нолан Дж., Уилон А. «Баллистические ракеты в третьем мире», «В мире науки», № 10, 1990).

Согласно некоторым сообщениям Великобритания в 1988 г. проводила работы по созданию радиоразведывательного спутника под кодовым названием «Zircon», который предполагалось вывести на геосинхронную орбиту над Индийским океаном. При таком положении спутника в космическом пространстве Великобритания сможет постоянно контролировать всю восточную половину территории Советского Союза. Спутник «Zircon» будет находиться достаточно близко к советским спутникам связи и сможет перехватывать передаваемые через них сообщения.

В первые месяцы 1990 г. ФРГ объявила о начале исследований, связанных с созданием спутниковой системы, предназначенной для наблюдения земной поверхности. Западногерманские официальные лица заявили, что основная задача будущей космической системы заключается в контроле за соблюдением договоров по вооружениям. Эта роль, видимо, не претерпит существенных изменений и после объединения ФРГ и ГДР.

Япония, судя по имеющимся сведениям, недавно приступила к созданию фоторазведывательного спутника, предназначенного для оборонных целей и для слежения за состоянием окружающей среды. Запуск первого такого спутника может состояться в ближайшие 10 лет. Некоторые политические обозреватели также считают вероятным, что после 2000 г. космические наблюдательные системы появятся у Ирака, Бразилии и Саудовской Аравии, поскольку у них уже сейчас имеются программы по созданию собственных МБР.

ЧРЕЗВЫЧАЙНО быстрый рост числа космических разведывательных систем в мире несомненно повлияет на формирование каждой страной своей внешней политики. Проведение различных военных акций, в том числе и тех, что связаны с освобождением заложников, все труднее будет сохранять в тайне от чужих глаз. Если между какими-либо двумя странами существуют противоречия,

которые нельзя устранить путем переговоров, космические разведывательные данные могут позволить им более эффективно вести боевые действия. Так, израильские атаки на иракский ядерный реактор в Осираке и на штаб-квартиру Организации освобождения Палестины в Тунисе были подготовлены с использованием спутниковых изображений, полученных (согласно сообщениям средств массовой информации) легальными и нелегальными путями из Соединенных Штатов.

Однако рост числа систем космической разведки может иметь и положительные последствия. Действительно, сохранять военные тайны и скрытно нарушать соглашения о контроле за вооружениями станет почти невозможно. Чем большее число «глаз» с орбиты постоянно будет следить за событиями на Земле, тем труднее будет скрыть имеющиеся системы оружия, радиолокационные станции и заводы по производству военной техники.

Пока на орбите находилось малое количество разведывательных спутников, та или иная страна могла скрывать испытания секретного самолета или подготовку к военным учениям. Однако, если разведывательных спутников много, сохранение тайны становится затруднительным и дорогостоящим. Только американские спутники, постоянно следящие с орбиты в пять пар «глаз», делают сокрытие в тайне каких-либо объектов практически невозможным.

При таком бурном росте численности систем космического наблюдения для любой страны станет почти невозможной тайная подготовка к войне или внезапное нападение. Для тех стран, которые предпочитают мирное решение любых конфликтов, спутниковая разведка будет создавать уверенность в том, что никакая другая страна не готовится к нападению. Данные, полученные из космоса, могут быть также использованы для оценки военного потенциала противника. На их основе руководители разведывательных служб решат, нужно ли создавать и развертывать новые наступательные вооружения.

Постоянное совершенствование космических разведывательных систем США и СССР, а также развитие подобных систем в других странах несомненно будет оказывать существенное влияние на международные отношения. Не исключено, что какие-то страны будут стремиться использовать спутники для ведения войны, другие — для ее предотвращения. В настоящее время последствия, к которым может привести рост числа раз-

ведывательных спутников, пока оценить невозможно; нельзя сказать также, смогут ли такие спутники предотвратить возникновение военных конфликтов. Однако история свидетельствует в пользу того, что спутниковая разведка в определенной мере

помогла сдерживанию гонки вооружений и сохранению мира между США и Советским Союзом в течение последних 30 лет. Не исключено, что и впредь она послужит уменьшению числа военных столкновений между странами.

Наука и общество

«Бакиболы» и новые перспективы в химии

ИССЛЕДОВАТЕЛИ из США (шт. Аризона) и Германии открыли новые свойства сажи. Им удалось выделить из сажи в заметных количествах кластерное соединение C-60, состоящее из 60 атомов углерода и названное бакминстерфуллереном (в честь Ричарда Бакминстера Фуллера, американского архитектора и инженера, который разработал «геодезические купола» — пространственные стальные конструкции из прямых стержней). Оно представляет собой блестящие коричневые кристаллы, которые можно рассматривать как третью модификацию углерода (две другие — это алмаз и графит). Бакминстерфуллерен может открыть новые перспективы в синтетической химии. «Невозможно даже представить себе все сферы его применения», — говорит Р. Смолли из Университета Райса. Смолли принимал участие в открытии бакминстерфуллера, определял его строение и предложил для него название. «Это новое исходное соединение для синтеза разнообразных органических веществ. Его открытие можно сравнить с открытием бензола в 1825 г.» Он добавляет: «Похоже, что бакминстерфуллерен будет невероятно дешевле».

Получение бакминстерфуллера (или, сокращенно, бакибола) в граммовых количествах чрезвычайно важно по двум причинам. Во-первых, теперь химики впервые смогли воочию увидеть кусочек той модификации углерода, молекулы которой были открыты только пять лет назад. Во-вторых, с помощью обычных химических методов, например рентгеноструктурного анализа, удалось убедительно показать, что молекула, состоящая из 60 атомов углерода, действительно имеет форму футбольного мяча (подобную куполу Фуллера), предложенную в 1985 г. Смолли, его коллегами из Университета Райса, а

также Х. Крото из Суссекского университета.

Способ получения бакминстерфуллера был открыт случайно, когда исследователи искали меньшие по размеру кластеры. «Миллиграммы бакминстерфуллера были у нас в руках уже в 1983 г., но тогда мы не догадывались, что это за вещество. Только после ознакомления с работами ученых из Университета Райса мы подумали, что можем получать кластерное соединение C-60», — сказал Д. Хаффман из Аризонского университета в Тусоне, который тогда работал вместе с В. Кретчмером из Института ядерной физики Макса Планка в Гейдельберге.

Хаффман и Кретчмер синтезировали бакминстерфуллерен в электрической дуге, создаваемой между графитовыми электродами в атмосфере гелия при давлении, в 7 раз меньшем атмосферного. Они собрали образовавшуюся сажу, растворили ее в бензоле и таким путем получили смесь практически чистых соединений C-60 и C-70, последнее имеет яйцеобразную форму. Раствор C-60 и C-70 обладает красноватой окраской, и из него выпадают коричневые кристаллы.

Если C-60 очистить от примеси C-70, то образуется кристаллическое вещество горчичного цвета; этот факт очень обрадовал Крото, Смолли и его коллег из Университета Райса. Дело в том, что, согласно теоретическим предположениям, соединение C-60 должно иметь желтый цвет, поэтому исследователи назвали свои поиски «охотой за желтой чашей». Эта охота началась сразу же после того, как пять лет назад был зарегистрирован необычно интенсивный пик бакибола в масс-спектрах. Исследователи предположили, что большая интенсивность пика свидетельствует о высокой устойчивости кластеров такого размера. Для объяснений этого рассматривались различные структуры: открытые листообразные и закрытые, имеющие форму клетки.

После многочисленных попыток приближенного моделирования с помощью зубочисток, резинок и оказавшихся неудачными графических компьютерных программ Смолли заявил, что он нашел оптимальный метод моделирования. Однажды ранним августовским утром 1985 г. на своей кухне он пытался собрать модель из бумажных многоугольников. Когда выяснилось, что из одних шестиугольников полностью модель собрать не удастся, Смолли решил на время прервать свои попытки и выпить пива. Когда он снова принялся за работу, то обнаружил, что из 12 пятиугольников и 20 шестиугольников можно построить сферу, если ни один из пятиугольников не имеет общей стороны с другим пятиугольником и если их вершины указывают друг на друга (для обеспечения симметрии). Смолли построил усеченный икосаэдр; его название уже говорит о том, что он образуется, если отсечь вершины у икосаэдра — последнего из пяти "правильных" многогранников (тел Платона).

Форма усеченного икосаэдра, действительно, совершенна. "Шестьдесят — это наибольшее число симметричных преобразований в группе икосаэдров, — считает Смолли. — Кроме того, шестьдесят — это наибольшая точечная группа, т. е. наибольшая совокупность операций симметрии (вращений, отражений и т. д.), в результате которых многогранник совмещается сам с собой. Отсюда следует, что молекула C-60 — самая симметричная из всех подобных молекул".

Эта наиболее сферическая из сферических молекул могла бы найти самые разнообразные практически важные применения. Смолли считает, что она могла бы послужить основой для создания прекрасного смазочного материала, если предварительно "насытить" ее 60 двойных связей, например, за счет присоединения 60 атомов фтора. (Каждый атом углерода имеет четыре связи, поэтому он либо образует двойную связь с одним из трех соседних атомов углерода, либо присоединяет какую-либо группу в результате взаимодействия с добавленным реагентом.) Другим следствием высокой симметрии молекулы бакминстерфуллера является способность ее электронов свободно перемещаться по всей молекуле. В результате молекула в еще большей степени напоминает конструкцию геодезического купола, поскольку усилие, приложенное к одной связи, переносится на все другие связи. В строительстве это свойство купола обеспечивает прочную и легкую крышу зданий, а в

случае кластера C-60 оно обуславливает легкость присоединения и потери электронов; по мнению Смолли, на базе такой обратимой реакции можно создать принципиально новый тип перезаряжаемых батарей.

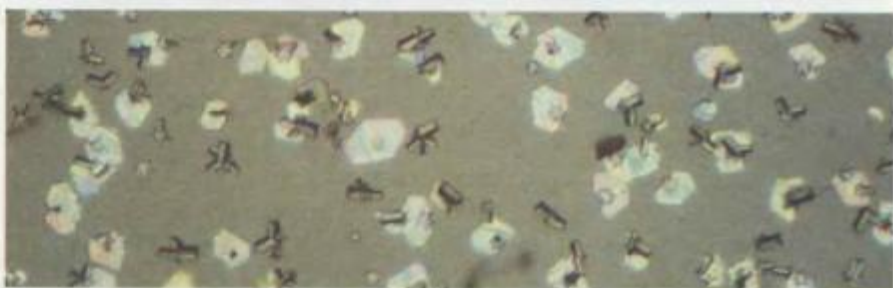
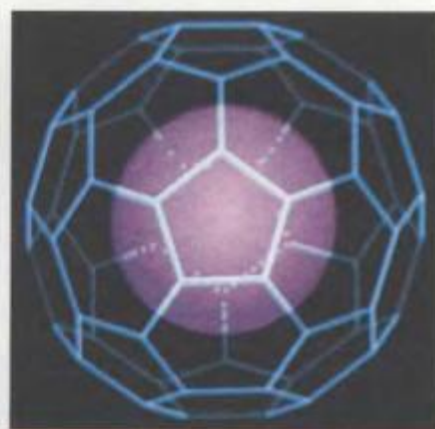
Наиболее перспективной областью применения бакминстерфуллера Смолли считает способность его молекул "захватывать" ионы металлов внутри центральной полости углеродной ячейки. Таким путем можно решить проблему микрокапсулирования для хранения реакционноспособных и радиоактивных материалов. Жесткие молекулы бакминстерфуллеренов могут выполнять также роль микроманипуляторов. "У нас нет легкого метода удержания одного атома — ионные ловушки могут удерживать только заряженные частицы. Но если атом достаточно мал, то он должен удерживаться в полости бакминстерфуллера и без ионизации", — говорит Хаффман.

В принципе можно также очень тонко регулировать электрохимические и оптические свойства бакминстерфуллера. В молекулу бакминстерфуллера можно включить атом любого из 92 химических элементов и получить 92 вещества с разными свойствами, Смолли предложил на-

зывать такие вещества металлофуллерониями.

Пока практическое применение бакминстерфуллеренов отстает от развития терминологии новых соединений этого класса. Например, соединения, состоящие из положительно заряженных бакминстерфуллеренов, предложено называть бакидами, а для бакминстерфуллера, который, подобно голове горгоны Медузы, унизан множеством органических молекул, соединенных с ним водородными связями, предлагался термин фазибол. Родственные бакминстерфуллерену соединения, содержащие более 60 атомов углерода (но обязательно четное число), были названы гигантскими фуллеронами. Теоретические расчеты показывают, что в полости гигантских фуллеренов могут располагаться довольно большие молекулы и, возможно, даже молекулы других, меньших фуллеренов. Такие фуллерены, усмехается Смолли, можно называть "пасхальными яйцами".

Привыкайте к новой терминологии — завтра вы наверняка встретитесь с ней уже в учебниках. В не слишком отдаленном будущем фуллерены могут оказаться в самых неожиданных местах — от бытовой электроники до кабинета врача.



МОДЕЛЬ МОЛЕКУЛЫ бакминстерфуллера в форме футбольного мяча была впервые сделана из бумаги (слева вверху) Р. Смолли из Университета Райса. Теперь Смолли поставил перед собой задачу "спрятать" ионы в клетку из 60 атомов углерода (справа вверху). Кристаллы этого вещества (внизу) были недавно выделены Д. Хаффманом из Аризонского университета и В. Кретчмером из Института ядерной физики Макса Планка. Микрофотография предоставлена В. Кретчмером.

Самоорганизованная критичность

Системы с большим количеством взаимодействующих элементов естественным образом эволюционируют к критическому состоянию, в котором малое событие может привести к катастрофе. Явление самоорганизованной критичности объясняет динамику землетрясений, рынков и экосистем.

ПЕР БАК, КАН ЧЕН

КОГДА происходит катастрофа, эксперты, как правило, винят в ней какую-нибудь редкую совокупность обстоятельств или сочетание мощных механизмов. Когда сильное землетрясение обрушилось на Сан-Франциско, геологи связали его с неустойчивостью вдоль разлома Сан-Андреас. Когда в «Черный понедельник» 1987 г. рухнул рынок акций, экономисты указали на дестабилизирующее влияние торговли компьютерами. Когда по отпечаткам на окаменелостях узнали о гибели динозавров, одни палеонтологи приписали их исчезновение падению метеорита, другие извержению вулкана. Эти теории вполне могут быть правильными. Но такие большие и сложные системы, как земная кора, рынок акций и экосистема, могут разрушиться не только под воздействием мощного удара, но и при падении булавки. Большие, состоящие из взаимодействующих элементов, т. е. интерактивные системы, постоянно самоорганизуются, стремясь достичь некоторого критического состояния, в котором даже малое событие вызывает цепную реакцию, иногда приводящую к катастрофе.

Исследователи традиционно анализировали большие интерактивные системы так же, как малые упорядоченные системы. Происходило это главным образом потому, что разработанные для простых систем методы оказались весьма успешными. Ученые считали, что могут прогнозировать поведение большой интерактивной системы путем изучения по отдельности ее элементов и действующих внутри нее микроскопических механизмов. За отсутствием лучшей теории они предполагали, что отклик большой интерактивной системы пропорционален действующему на нее возмущению. Считалось, что динамика больших интерактивных си-

стем может быть описана в терминах равновесного состояния, которое время от времени возмущается некоторой внешней силой.

В последние несколько десятилетий, однако, становилось все более ясно, что многие хаотические и сложные системы не поддаются традиционному анализу. В 1987 г. один из авторов (Бак) в сотрудничестве с Куртом Визенфельдом, работающим сейчас в Технологическом институте шт. Джорджия, и Чао Тангом, теперь сотрудником Института теоретической физики в Санта-Барбаре, разработал концепцию для объяснения поведения составных систем, т. е. систем, содержащих миллионы и миллионы элементов, взаимодействующих на малых расстояниях. Мы предложили теорию самоорганизованной критичности. Согласно этой теории, многие составные системы естественным образом эволюционируют к критическому состоянию, в котором малое событие вызывает цепную реакцию, могущую повлиять на любое число элементов системы. Хотя в составных системах происходит больше незначительных событий, чем катастроф, цепные реакции всех масштабов являются неотъемлемой частью динамики. Как следует из теории критичности, малые события вызывает тот же механизм, что и крупные. Более того, составные системы никогда не достигают равновесия, а вместо этого эволюционируют от одного метастабильного состояния к другому.

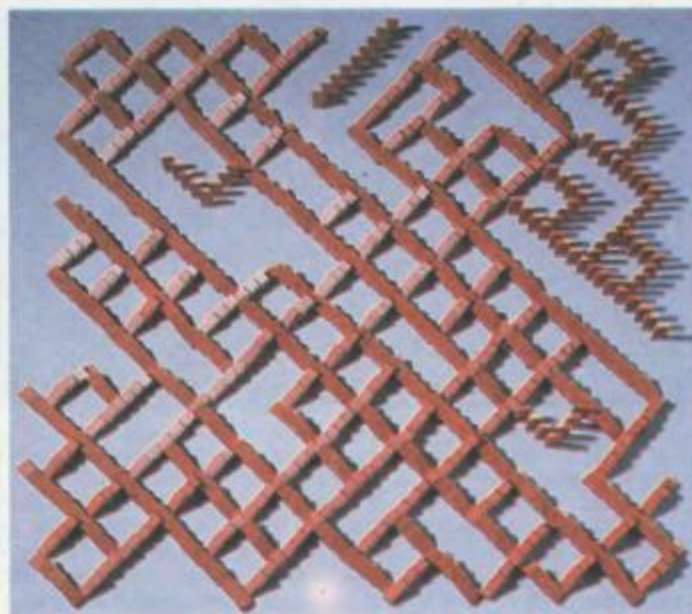
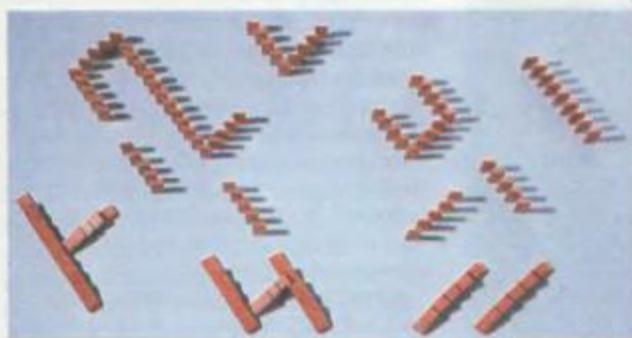
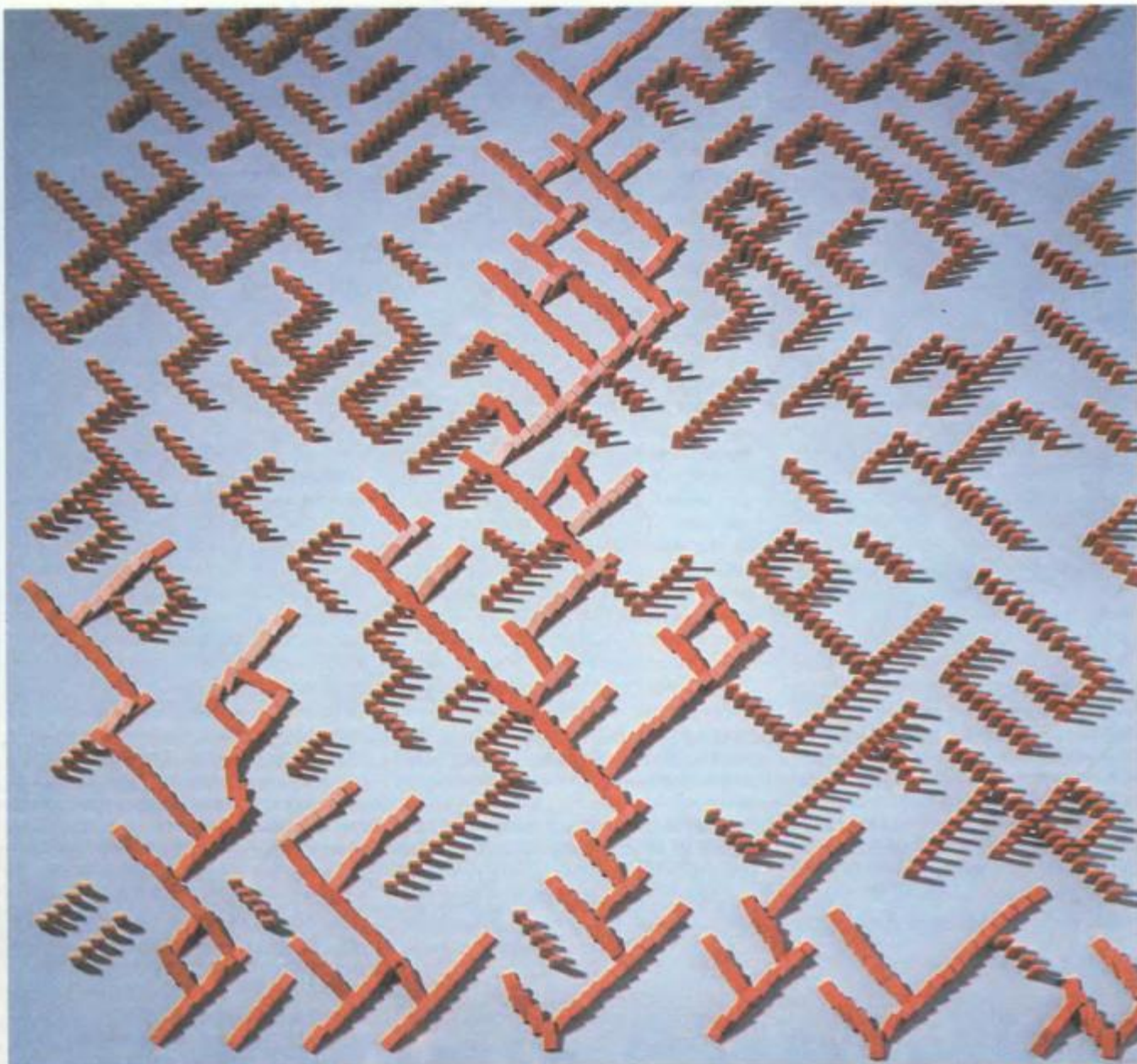
Концепция самоорганизованной критичности — это холистическая теория (холизм — «философия целостности». — *Перев.*); она подразумевает, что глобальные характеристики, такие, как относительное число больших и малых событий, не зависят от микроскопических механизмов. Именно поэтому глобальные характери-

стики системы нельзя понять, анализируя ее части по отдельности. Несколько нам известно, концепция самоорганизованной критичности — это единственная модель, или математическое описание, которое привело к холистической теории динамических систем.

В последние четыре года эксперименты и расчеты по моделям показали, что многие составные системы, стоящие в центре исследований в геологии, экономике, биологии и метеорологии, обнаруживают признаки самоорганизованной критичности. Эти открытия улучшили наше понимание эволюции земной коры, рынка акций, экосистем и многих других составных систем.

ПОСКОЛЬКУ составные системы содержат много компонентов, а их поведение определяется большим числом взаимодействий, исследователи, вероятно, не в состоянии построить математические модели, которые были бы одновременно и совершенно реалистичными, и поддающимися теоретическому анализу. Поэтому они вынуждены прибегать к простым идеализированным моделям, отражающим существенные черты реальных систем. Если эти простые модели устойчиво ведут себя по отношению к различным модификациям, то результаты расчетов по ним можно экстраполировать на реальные ситуации. (Этот подход успешно применяется в равновесной статистической механике, где универсальные явления в системах со многими степенями свободы можно понять, изучая простые модели.)

Парадигмой для самоорганизованной критичности служит простая на первый взгляд система: куча песка. Некоторые исследователи моделировали динамику песочных куч с помощью компьютерных программ;



КРИТИЧНОСТЬ, субкритичность и суперкритичность в системе из костей домино. В критической системе (вверху) кости были случайным образом размещены на половине сегментов ромбической решетки. Когда кости, находящиеся в нижнем ряду, опрокинули, в критической системе пошли цепные реакции. Субкритическая система (внизу слева), где плотность костей была гораздо меньше критической, дала слабые цепные реакции. Суперкритическая система (справа) с плотностью значительно выше критической буквально взрывалась.

другие, такие, как Гленн Хелд с сотрудниками в Исследовательском центре им. Томаса Уотсона корпорации IBM, проводили эксперименты. Как модели, так и эксперименты дали сходные результаты.

Хелд со своими сотрудниками создал устройство, которое медленно и равномерно — по одной песчинке — насыпает песок на круглую подложку. Сначала песчинки остаются близко к тому месту, куда они упали. Вскоре они начинают громоздиться друг на друга, образуя кучу с пологим склоном. Время от времени, когда в каком-то месте склон становится слишком крутым, песчинки соскальзывают вниз, вызывая небольшую лавину. По мере добавления песка и увеличения крутизны склона средний размер лавин увеличивается. Некоторые песчинки начинают сваливаться с края круга. Куча перестает расти, когда количество добавляемого песка в среднем компенсируется количеством песка, сваливающегося с края. В этот момент система достигает своего критического состояния.

Когда на кучу, находящуюся в критическом состоянии, падает песчинка, она может вызвать лавину любого размера, включая «катастрофическое» событие. Однако большую часть времени песчинки падают так, что лавин не возникает. Мы обнаружили, что даже самые большие лавины захватывают лишь небольшую долю песчинок в куче, поэтому даже катастрофические лавины не могут привести к значительному отклоне-

нию крутизны склона от критического значения.

Лавина является разновидностью цепной реакции, или ветвящегося процесса. Несколько упростив динамику лавины, можно определить главные характеристики цепной реакции и построить модель.

В начале схода лавины одна песчинка соскальзывает вниз по склону в результате некоторой неустойчивости на поверхности кучи. Эта песчинка остановится только тогда, когда окажется в устойчивом положении; в противном случае она продолжит движение. Если она столкнется с песчинками, которые почти неустойчивы, она заставит их также катиться вниз. В ходе этого процесса каждая движущаяся песчинка может остановиться или продолжать падать, а также может вызвать падение других песчинок. Процесс прекратится, когда все «активные» песчинки остановятся или скатятся с кучи. Для измерения размеров лавины можно просто сосчитать общее число скатившихся песчинок.

Куча сохраняет постоянную высоту и крутизну потому, что вероятность прекращения активности в среднем равна вероятности ветвления активности. Таким образом, цепная реакция поддерживает критическое состояние.

Если форма кучи такова, что крутизна ее склона меньше критической (субкритическое состояние), то лавины будут меньше, чем при критическом состоянии кучи. «Субкритиче-

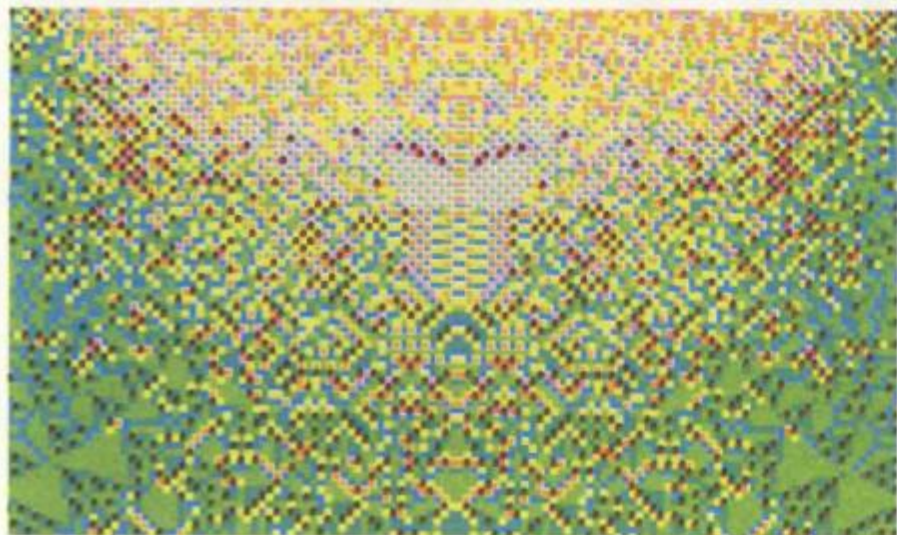
ская» куча будет расти, пока не достигнет критического состояния. Если крутизна склона больше критической (суперкритическое состояние), то лавины будут значительно больше тех, что генерируются критическим состоянием. «Суперкритическая» куча будет уменьшаться, пока не перейдет в критическое состояние. Как субкритическая, так и суперкритическая кучи естественным образом тяготеют к критическому состоянию.

Что изменится, если вместо сухого песка взять мокрый или попытаться предотвратить лавины с помощью загораживания? Сначала влажная куча дает более редкие лавины меньшего размера, чем такая же сухая куча. Спустя некоторое время крутизна склона у влажной кучи вырастает до большего значения, чем у сухой. В этом состоянии влажная куча порождает лавины всех размеров: она эволюционировала к критическому состоянию. Аналогичную динамику можно наблюдать для кучи с «противолавинными» загораживаниями. В целом критическое состояние устойчиво относительно любых малых изменений в характеристиках системы.

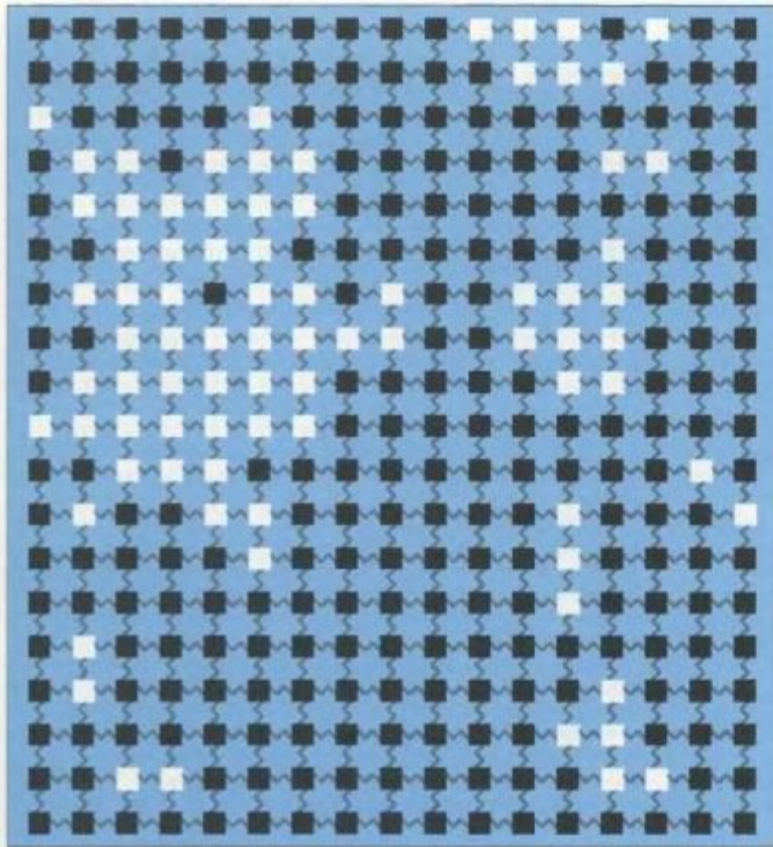
Песочная куча обладает двумя, на первый взгляд исключаящими друг друга, свойствами: эта система неустойчива во многих различных местах и вместе с тем ее критическое состояние абсолютно устойчиво. С одной стороны, конкретные свойства, такие, как локальный рельеф кучи, постоянно меняются из-за лавин. С другой, статистические свойства системы, такие, как распределение размеров лавин, остаются неизменными.

Наблюдатель, изучающий какую-то область кучи, может легко выявить механизмы, вызывающие падение песка, и даже предсказать, возникнут ли лавины в ближайшем будущем. Для локального наблюдателя большие лавины останутся, однако, непредсказуемыми, потому что они являются следствием эволюции кучи в целом. Независимо от локальной динамики лавины будут неумолимо возникать с относительной частотой, которую нельзя изменить. Критичность является глобальным свойством песочной кучи.

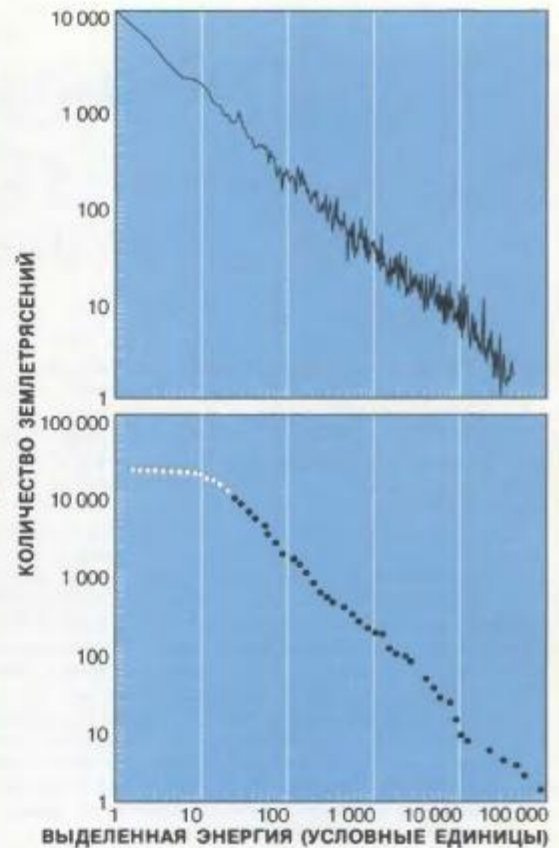
Несмотря на то что песок добавляется к куче с постоянной скоростью, количество песка, ссыпавшегося с кучи, значительно меняется со временем. Если нарисовать график этой величины в зависимости от времени, то мы увидим хаотический сигнал со следами всех длительностей. Такие сигналы известны как «шум мерцания», или «фликкер-шум», или шум $1/f$. Как известно, шум мерцания указывает на то, что на динамику системы



КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ кучи песка естественным образом эволюционирует к критическому состоянию, в котором добавление одной песчинки может вызвать лавины во всей системе. По мере добавления песчинок к куче (вдоль *верхнего ряда изображения*) компьютер определял, куда будет двигаться каждая песчинка, и вычислял крутизну склона в нескольких точках. Розовые квадраты — самые крутые части кучи, черные — плоские участки. Песчинки, достигавшие боковых сторон или основания, скатывались с кучи.



МОДЕЛЬ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ имитирует силы, действующие на блоки земной коры. Всякий раз, когда сила, действующая на некоторый блок, превышает критическую величину, блок начинает скользить и усилия передаются на соседние блоки. Каждый белый квадрат представляет скользящий блок, кластер блоков — землетрясение. В модели возникают землетрясения всех размеров: от изолированного проскальзывания до «катастрофических» кластеров, простирающихся по всей системе. Полное число проскальзываний в кластере является мерой энергии, высвобождающейся во время этого землетрясения. График в правом



верхнем углу основан на результатах расчетов 10 000 модельных землетрясений. Для сравнения на нижнем графике показаны характеристики реальных землетрясений, собранные Арчем Джонстоном и Сьюзан Нава в зоне повышенной сейсмичности Нью-Мадрида в США. Результаты расчетов по модели, равно как и данные измерений, можно представить в виде степенного закона: количество землетрясений с энергией E пропорционально E^{-b} в некоторой постоянной степени. Степенные законы можно рассматривать как свидетельство самоорганизованной критичности.

влияют прошлые события. И наоборот: «белый», или случайный, шум означает отсутствие корреляции между текущей динамикой и прошлыми событиями.

Шум мерцания чрезвычайно широко распространен в природе. Он наблюдается в активности Солнца, излучении галактик, токе, протекающем через резистор, и потоке воды в реке. Вездесущность шума мерцания — это одна из загадок в физике. Теория самоорганизованной критичности предлагает достаточно общую интерпретацию: шум мерцания является суперпозицией сигналов всех амплитуд и длительностей — сигналов, возникающих, когда система, находящаяся в критическом состоянии, порождает цепные реакции всех амплитуд и длительностей.

МЫ С КОЛЛЕГАМИ построили много компьютерных моделей, демонстрирующих самоорганизованную критичность. Эти модели помо-

гли нам понять динамику землетрясений, экосистем и турбулентности в жидкостях.

Моделирование землетрясений было, наверное, самым удачным. В 1956 г. геологи Бено Гутенберг и Чарльз Рихтер (известный введением шкалы, которая носит его имя) обнаружили, что число сильных землетрясений связано с числом слабых (это правило известно как закон Гутенберга — Рихтера). В течение года число землетрясений, высвобождающих определенное количество энергии E , пропорционально единице, деленной на E в степени b , где показатель b равен примерно 1,5. Показатель b универсален в том смысле, что он не зависит от географического района. Отсюда следует, что сильные землетрясения случаются гораздо реже, чем слабые. Например, если в районе каждый год происходит одно землетрясение с энергией 100 (в некоторых единицах), то там же ежегодно будет происходить приблизительно 1000

землетрясений с энергией 1.

Из-за того, что число слабых землетрясений тесно связано с числом сильных, можно предположить, что малые и большие события есть следствия одного и того же механического процесса. Мы с сотрудниками полагали, что степенное распределение свидетельствует о самоорганизованной критичности. Однако для того, чтобы проверить теорию, надо было понять, как можно имитировать процесс, вызывающий землетрясения.

Обычно предполагается, что землетрясения вызываются механизмом сдвигания — проскальзывания: блоки коры слипаются, а затем скользят относительно друг друга, создавая разломы. Когда один блок скользит относительно другого, напряжение снимается и распространяется на соседние районы.

Для воспроизведения этого механизма в лаборатории Владимир Бобров и Михаил Лебедин из Институ-

Самоорганизованная критичность и песочные кучи

ТЕОРИЯ самоорганизованной критичности дает простое предсказание динамики песочной кучи: когда на кучу падает одна песчинка, она обычно вызывает скатывание небольшого числа песчинок, но часто порождает и большую лавину. Для проверки этого предсказания Гленн Хелд и его сотрудники в Исследовательском центре им. Т. Уотсона корпорации IBM недавно провели остроумный эксперимент.

Самой трудной проблемой было создание устройства, которое медленно добавляло бы к куче по одной песчинке. Хелд и его сотрудники установили на лабораторном стенде мотор с регулируемой скоростью вращения вала и закрепили на валу колбу на 250 мл, к которой была прикреплена капиллярная трубка длиной 23 см с внутренним диаметром 2,0 мм. Колбу заполняли песком и наклоняли ее примерно на 2° ниже горизонтали, чтобы песчинки проскальзывали в капиллярную трубку, но не пролетали сквозь нее.

При вращении колбы вокруг оси со скоростью около 60 об/мин песчинки выстраивались в капиллярной трубке и двигались цепочкой к ее концу. Регулируя угол наклона колбы и скорость вращения мотора, можно было настроить аппарат так, чтобы каждые 15 с падала одна песчинка. Отверстие капиллярной трубки находилось примерно в 10 см над чашкой аналитических весов.

Весы имели точность 0,0001 г и допускали взвешивание до 100 г. Одна песчинка весила примерно 0,0006 г. Куча с диаметром в основании 4 см весила около 15 г.

В качестве подложки для песочных куч Хелд и его сотрудники брали круглые пластины диаметром от 1 до 8 см. Каждая пластина была прикреплена к стержню длиной 2,5 см и диаметром 0,5 см. Стержень в свою очередь опирался на круг диаметром 4 см. Весь узел, напоминавший катушку, покоился на чашке весов. Стержень был окружен металлической «юбкой», не дающей сыпавшемуся с кучи песку падать на чашу весов; тем самым весы измеряли только вес кучи.

Сами весы были экранированы, чтобы песок не сдували воздушные потоки, а вся конструкция устанавливалась на массивном столе, гасящем вибрации. Для сборки всего аппарата Хелду потребовалось около 10 ч.

В первых экспериментах Хелд и его сотрудники использовали ча-

стицы оксида алюминия, но вскоре они обнаружили, что песок с пляжей Лонг-Айленда был не хуже. Песок готовили, подсушивая его в печи и фильтруя песчинки сначала через редкое, а затем через более частое сито. Отбирались песчинки, проходившие через более редкое сито (восемь перекрестных проволок на сантиметр), но задерживавшихся частым ситом (10 перекрестных проволок на сантиметр).

Заполнив колбу песком, исследователи насыпали «черновую» кучу на круглой подложке. Чтобы обеспечить усадку песочной кучи до ее естественной формы, они пускали песчинки на кучу непрерывно в течение нескольких часов. Затем они наблюдали сход лавин вниз по куче. Когда песок падал с краев пластины, они измеряли флуктуации массы кучи.

Для управления мотором и контроля за весами использовался персональный компьютер. Когда компьютер обнаруживал изменение массы кучи, сравнимое с массой песчинки, он останавливал вращение колбы и тем самым подачу песка. После того как весы успокаивались, компьютер вновь регистрировал массу. Затем он запускал двигатель для продолжения процесса.

Хелд с сотрудниками держали систему включенной в течение двух недель, высыпав на 4-см пластину в общей сложности более 35 000 песчинок. Они наблюдали лавины разных размеров. При добавлении от одной до нескольких тысяч песчинок изменение массы кучи колебалось в диапазоне от одной до нескольких сотен масс песчинок. Такой результат явно указывал на то, что куча песка самоорганизовывалась до критического состояния.

Однако когда исследователи увеличили диаметр подложки песочной кучи, взяв пластину диаметром 8 см, обнаружилось, что куча порождает только большие лавины (массой около 4 г). Отсюда был сделан вывод, что кучи этого размера не обладают самоорганизованной критичностью. Пока остается неясным, почему только малые кучи естественным образом эволюционируют к критическому состоянию.

Более подробную информацию об эксперименте с кучами песка можно найти в статье: Glenn A. Held et al. Experimental Study of Critical-Mass Fluctuations in an Evolving Sandpile, "Physical Review Letters", vol. 65, no. 9, pp. 1120—1123, August 27, 1990.



та физики твердого тела в Черногловке под Москвой провели эксперимент, в котором к алюминиевому стержню, имитировавшему участок земной коры, прикладывалось определенное давление. Это давление вызывало переход от упругого состояния (когда стержень после снятия давления возвращается к исходной форме) к пластическому течению (когда деформация является необратимой). В пластической фазе в стержне возникал своего рода участок «разлома», где две части стержня скользили относительно друг друга. Бобров и Лебедев наблюдали «землетрясения», амплитуда и частота которых были связаны степенным законом. Когда они провели эксперименты с ниобиевыми стержнями вместо алюминиевых, они получили такие же результаты, несмотря на то, что микроскопические механизмы для этих двух материалов различны.

Мы создали простую компьютерную модель земной коры, которая воспроизводит важные черты землетрясений. В целях простоты мы ограничили рассмотрение всего двух плит: упругой и жесткой. Упругая плита представлена двумерным набором блоков, каждый из которых соединен с четырьмя окружающими блоками пружинами. Когда набор блоков сжимают, пружины действуют на блоки с силой, пропорциональной сжатию. (Мы включали в модель силы других типов, что мало изменило динамику.) Блоки упругой плиты взаимодействуют с жесткой плитой посредством трения.

Всякий раз, когда сила пружины, действующая на какой-либо блок, превышает некоторое критическое значение, блок начинает скользить. Он продолжает двигаться до тех пор, пока сила пружины не упадет ниже критической. Сила передается поровну его четырем соседям (во время этого процесса потенциальная энергия, запасенная в пружинах, сначала превращается в кинетическую, а затем рассеивается, когда блоки замедляются силами трения). Модель описывает распределение сил до и после каждого события, но не движение блока или другие детали динамического процесса.

Когда модель «приводится в движение» путем увеличения с небольшой постоянной скоростью силы, действующей на все блоки в одинаковом направлении, в модели начинают возникать серии «землетрясений». Сначала происходят только слабые «землетрясения», но постепенно система эволюционирует к критическому состоянию, в котором генерируются как слабые, так и сильные землетрясения. Равномерное увеличение

силы в целом уравнивается высвобождением силы на границе.

Наиболее подробно мы изучали модель с того момента, когда система эволюционировала к критическому состоянию. Мы предполагаем, что кора Земли уже находится в стационарном критическом состоянии, поэтому реальные землетрясения можно моделировать критическим состоянием модели.

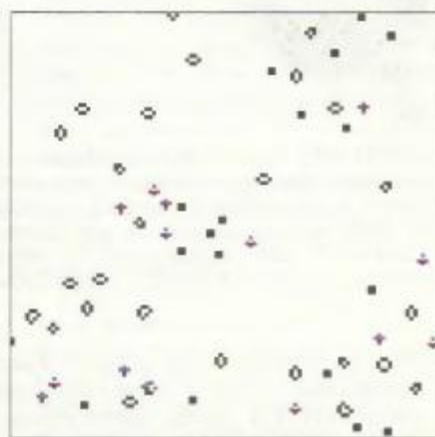
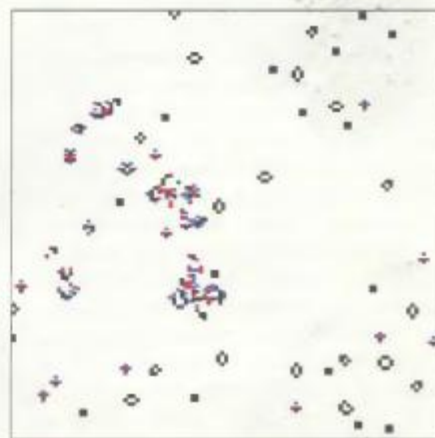
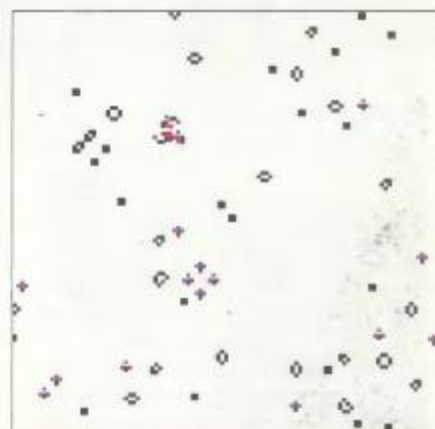
В модели энергия, выделяемая во время «землетрясения», связана с числом событий проскальзывания, происходящих после возникновения одиночной неустойчивости в некотором «эпицентре». Если подсчитать число землетрясений каждой величины за длительный период, то получится степенное распределение, аналогичное закону Гутенберга — Рихтера (см. рисунок на с. 19). Катастрофические землетрясения представлены высокоэнергетической частью степенной кривой, которая может быть гладко экстраполирована из низкоэнергетической части, представляющей слабые землетрясения. Сильные землетрясения не определяются каким-то отдельным механизмом.

Мы строили модели в двух, трех и четырех измерениях, в которых к каждому блоку «присоединилось» соответственно четыре, шесть или восемь пружин. Размерность определяет показатель b в степенном законе. В картине критической цепной реакции различные значения b соответствуют различным «спариваниям» между отдельными ветвящимися процессами. Сергей Обухов из Института теоретической физики им. Л. Д. Ландау в Москве показал, что в четырех и более измерениях отдельные ветвящиеся процессы существенно независимы, и значение b , рассчитанное аналитически, равно 1,5.

Конечно, активные регионы реальных землетрясений трехмерны, и компьютерное моделирование — пока единственный способ предсказать реальное значение b . Не стоит думать, что грубо упрощенная модель даст правильные показатели для распределения реальных землетрясений. Тем не менее модель показывает, что состояние самоорганизованных критических систем должно описываться степенными законами, и наоборот, закон Гутенберга — Рихтера можно считать доказательством того, что земная кора постоянно находится в критическом состоянии.

Исследователи из разных стран применяли теорию самоорганизованной критичности для объяснения многих других свойств землетрясений. Кейсукэ Ито и Мицухиро Мацузаки из Университета Кобэ объяснили пространственное распределение эпи-

центров с помощью слегка модифицированной модели. Они объяснили также простой эмпирический закон для числа афтертоков (следующих за землетрясением небольших толчков. —



ИГРА «ЖИЗНЬ» воспроизводит эволюцию колонии организмов, позволяя предположить, что теория самоорганизованной критичности может объяснить динамику экосистем. Черные квадратики соответствуют живым организмам, розовые — отмирающим, голубые отражают рождение нового организма. Вверху — колония спустя короткое время после того, как к устойчивой конфигурации организмов был добавлен новый организм. В середине и внизу показана колония, эволюционирующая к новому устойчивому состоянию.



ДИНАМИКУ ЛАВИН можно объяснить в рамках теории самоорганизованной критичности. Из нее следует, что нагромождение снега и другие сложные системы естественным образом эволюционируют к критическому состоянию, в котором малые возмущения могут породить цепные реакции разных размеров. Если эта теория справедлива, то с ее помощью аналитики смогут улучшить прогнозирование катастрофических событий.

Ред.) данной магнитуды, известный как «закон Омори». Анн и Диле Сорнет из Университета в Нише анализировали временные интервалы между сильными землетрясениями и обнаружили закономерность, которая может иметь важные следствия для долгосрочного прогноза землетрясений. Джейн Карлсон и Джеймс Лэнгер из Института теоретической физики создали одномерную модель движения земной коры вдоль разлома. Они обнаружили, что модель действительно эволюционирует к критическому состоянию.

ТЕОРИЯ самоорганизованной критичности не только объясняет эволюцию землетрясений, но и опи-

сывает распределение их эпицентров. В течение более десяти лет исследователи знали, что степенные законы могут описывать распределение таких объектов, как горы, облака, галактики и вихри в турбулентных жидкостях. Число объектов внутри, например, сферы радиуса r пропорционально r^D в степени, представляющей собой некоторую константу.

Такое распределение объектов называется фракталом (см. статью: Хартмут Юргенс, Зайнц Отто Пайтген, Дитмар Заупе. Язык фракталов, «В мире науки», 1990, № 10). Мы пришли к выводу, что фракталы описывают и распределение эпицентров землетрясений.

Хотя фракталы встречаются в природе повсеместно, исследователи только-только начали понимать создающую их динамику. Мы и наши коллеги предлагаем рассматривать фракталы как мгновенные «срезы» самоорганизованных критических процессов. Фрактальные структуры и шум мерцания являются, соответственно, пространственными и временными «отпечатками» самоорганизованной критичности.

Прогнозирование землетрясений по-прежнему остается трудной задачей. Устойчивость земной коры, по видимому, весьма чувствительна к начальным условиям системы. Иногда на развитие землетрясения могут повлиять условия вдали от эпицентра.

Чтобы оценить точность прогнозов для динамической системы, необходимо знать с некоторой точностью начальные условия, а также правила динамики. В нехаотических системах, таких, как Земля, движущаяся по орбите вокруг Солнца, неопределенность остается постоянной: можно определить положение Земли на момент через миллион лет почти с той же точностью, с которой можно знать теперешнее ее положение.

В хаотических же системах малая начальная неопределенность растет со временем экспоненциально. Более того, при попытке делать прогнозы на все более далекое будущее объем информации, который необходимо собрать о начальных условиях, также растет экспоненциально. Этот экспоненциальный рост большей частью препятствует долгосрочным прогнозам.

Для проверки точности прогнозов в нашей модели землетрясений мы провели две имитации критического состояния. Эти имитации различаются наличием малой случайной силы, действующей на каждый блок и представляющей малую неопределенность в отношении начальных условий. При запуске этих двух моделей неопределенность растет со временем, но гораздо медленнее, чем в хаотических системах. Неопределенность растет по степенному, а не по экспоненциальному закону. Система эволюционирует на грани хаоса. Это поведение, называемое слабым хаосом, является результатом самоорганизованной критичности.

Слабый хаос существенно отличается от полностью хаотического поведения. Полностью хаотические системы характеризуются интервалом времени, выходящим за пределы которого при прогнозировании невозможно. В слабохаотических системах такая характеристика отсутствует, и поэтому они допускают долгосрочное прогнозирование.

Поскольку мы обнаруживаем, что все самоорганизованные критические системы являются слабохаотическими, мы думаем, что слабый хаос очень распространен в природе. Было бы, конечно, интересно знать, действительно ли неточность прогнозов землетрясений, экономических прогнозов и прогнозов погоды растет со временем по степенному, а не по экспоненциальному закону.

Например, если погода — явление хаотичное и 100 обсерваторий собирают достаточно информации для прогноза погоды на два дня вперед, то 1000 обсерваторий могли бы обеспечить прогноз на четыре дня вперед. Если же погода слабохаотическое явление, то 1000 обсерваторий могли бы обеспечить прогноз на 20 дней вперед.

Заменяя понятия и воспользовавшись воображением, модель кучи песка или землетрясения можно трансформировать применительно ко многим ситуациям. Было, например, показано, что поток автомобилей на шоссе описывается шумом мерцания. Движение с попеременным троганием с места и остановкой можно рассматривать как критические лавины, распространяющиеся по потоку автомобилей.

МОДЕЛИ уличного движения, песочных куч и землетрясений похожи в том смысле, что число элементов в этих системах сохраняется. Например, число песчинок в куче всегда равно числу упавших на кучу минус число скатившихся с нее. Сохранение элементов является важной чертой многих систем, которые естественным образом эволюционируют к критическому состоянию. Теория самоорганизованной критичности не ограничена (и это можно показать на примере игры «жизнь») системами, характеризующимися локальными законами сохранения.

В 1970 г. математик Джон Конвей изобрел игру, которую впоследствии популяризовал Мартин Гарднер (см. его рубрику *Mathematical Games*, "Scientific American", October 1972). Игра «жизнь» моделирует эволюцию колонии живых организмов и имитирует генерацию сложности в природе.

До начала игры фишки, или «организмы», размещаются случайным образом на доске, состоящей из квадратных ячеек. Каждая ячейка занята не более чем одним организмом и окружена восемью соседними ячейками. Для определения на каждом ходу состояния ячейки необходимо сосчитать число организмов, занимающих восемь соседних ячеек. Если вокруг пустой или занятой ячейки имеется две «живых» ячейки, то состояние этой ячейки не меняется. Если вокруг

некоторой ячейки имеется три живых ячейки, то они дают начало новому организму или поддерживают жизнь существующего организма. Во всех остальных случаях организм умирает от перенаселенности или одиночества.

Игра продолжается по этим правилам, пока не приходит в состояние «покоя» — некоторое простое периодическое состояние, содержащее устойчивые колонии. Когда вносят возмущение, добавляя дополнительную «живую» ячейку, в системе часто наблюдаются длительные активные переходные процессы.

Авторы данной статьи и Майкл Крейц из Брукхейвенской национальной лаборатории недавно изучили игру «жизнь», чтобы определить, будет ли число живых ячеек колебаться со временем, как размеры лавин в модели кучи песка. Когда система приходила в состояние покоя, мы добавляли в случайном месте один организм, ждали пока система придет в новое состояние покоя, и повторяли процедуру. Затем мы измеряли общее число рождений и смертей в «лавине» после каждого дополнительного возмущения. Было обнаружено, что распределение описывается степенным законом, указывая, что система самоорганизовывалась в критическое состояние.

Мы обнаружили также, что распределение живых ячеек является фракталом, который можно описать степенным законом. Среднее число активных ячеек на расстоянии r от данной активной ячейки было пропорционально r в степени D , где D оказалось равным примерно 1,7.

Но не является ли критичность случайной в том смысле, что она возникает только для очень специфичных правил, изобретенных Конвеем? Чтобы найти ответ на этот вопрос, мы построили модели, являющиеся вариациями игры «жизнь». Некоторые вариации были трехмерными; в других организмы добавлялись в систему по мере ее эволюции или вводились в определенные, а не в случайные ячейки. Все модели эволюционировали к критическому состоянию и могли быть описаны степенными законами, которые, судя по всему, зависят только от пространственной размерности.

Мы предполагаем, что наши модели могут иметь важные следствия для теоретической биологии. Игру «жизнь» допустимо рассматривать как игрушечную модель коэволюционной системы. Каждая ячейка может представлять ген очень простого вида, принимающий значение 1 или 0. Устойчивость каждого значения зависит от состояния среды, выраженно-

го значениями генов соседних видов. Коэволюционный процесс переводит систему из начального случайного состояния в высокоорганизованное критическое состояние со сложными статическими и динамическими конфигурациями. Сложность глобальной динамики тесно связана с критичностью динамики. Фактически теория сложности и теория критичности могут быть по своей природе одинаковыми.

Биолог Стюарт Кауфман из Пенсильванского университета предложил модель эволюции, в которой виды представлены цепочками чисел (генов). Гены взаимодействуют как внутри видов, так и между ними. Кауфман предположил, что сложность жизни может быть тесно связана с существованием критического состояния. Наши исследования показывают, что эволюция может автоматически привести простую, более или менее случайную интерактивную динамическую систему точно к такому критическому состоянию. Если этот сценарий правилен, то эволюция действует на грани хаоса. Исчезновение динозавров, например, можно было бы рассматривать как лавину в динамике эволюции, и его объяснение не требует внешней силы — падения метеорита или извержения вулкана.

Филип Андерсон из Принстонского университета, Брайан Артур из Стэнфордского университета, Кауфман и один из авторов статьи (Бак) пришли к выводу, что флуктуации в экономике также могут быть лавинами в самоорганизованном критическом состоянии системы. Бенуа Мандельброт из корпорации IBM проанализировал такие показатели, как индекс Доу-Джонса, и обнаружил флуктуации, аналогичные шуму мерцания. Различные метастабильные стационарные состояния экономики могут соответствовать различным метастабильным состояниям песочной кучи или земной коры.

Традиционные модели предполагают существование очень устойчивого равновесного положения для экономики; при этом большие агрегатные флуктуации могут возникнуть только от внешних ударов, которые одновременно влияют на много разных секторов одинаковым образом. Однако часто трудно отыскать причины таких крупномасштабных флуктуаций, как депрессия 1930-х годов. Если, с другой стороны, экономика является самоорганизованной критической системой, то более или менее периодических крупномасштабных флуктуаций можно ожидать даже в отсутствие каких-либо общих для разных секторов «толчков».

Для проверки жизнеспособности этих идей мы вместе с Хосе Шейнкма-

ном и Майклом Вудфордом из Чикагского университета создали простую модель, в которой компании, производящие разные продукты, занимают каждая свою позицию в двумерной решетке. Каждая компания покупает исходные материалы у двух компаний, расположенных на соседних позициях. Затем каждая производит новые продукты, которые пытается продать на открытом рынке. Если спрос на продукт каждой компании изменяется случайным образом на малую величину, многие компании могут испытать «лавину» в продаже и производстве. Расчеты показывают, что эта модель стремится к самоорганизованному критическому состоянию таким же образом, как и модель кучи песка. Большие флуктуации являются внутренним и неизбежным свойством динамики этой модельной экономики.

Теория самоорганизованной критичности может найти применение и в динамике жидкости. Давно считалось, что в турбулентной среде энергия сосредоточена в вихрях всех раз-

меров. Мандельброт предположил, что рассеяние энергии происходит в микроскопической части пространства, занимающей сложную фрактальную структуру. Хотя эта гипотеза, судя по всему, согласуется с экспериментами, не существует ни теории, ни расчетов, которые бы воспроизводили такую картину.

В сотрудничестве с Тангом мы построили простую «игрушечную» модель турбулентности, которая работает в самоорганизованном критическом состоянии. Модель имитирует лесные пожары, где «деревья» растут равномерно, а горят (рассеивается энергия) фрактально. Можно считать, что рассеяние энергии вызывается последовательностью пожаров, распространяющихся, как лавины. В критическом состоянии имеется распределение пожаров и лесных участков всех размеров, соответствующее тому факту, что в турбулентной жидкости энергия хранится в вихрях всех масштабов. Хотя эта модель нереалистична для жидкостей, мы тем не менее предполагаем, что турбулент-

ность может быть самоорганизованным критическим явлением. Одним из следствий этой гипотезы (которое можно легко проверить экспериментально) является то, что полностью развитая турбулентность представляет собой не «сильно» хаотическое явление, как обычно предполагается, а лишь слабохаотическое, как это имеет место в модели землетрясений.

МОЖНО ПРИДУМАТЬ и более экзотические примеры самоорганизованной критичности. Так, на протяжении человеческой истории войны и мирные взаимодействия между странами и народами могли привести к критическому состоянию, в котором конфликты и социальные волнения распространяются, как лавины. Самоорганизованная критичность может даже объяснить, как распространяется информация по нейронным сетям в мозге. Неудивительно поэтому, что блестящие идеи могут инициироваться малыми событиями (например, как мы надеемся, чтением данной статьи).

Наука и общество

Лунный разведчик

ГРУППА ДОБРОВОЛЬЦЕВ пытается организовать частную экспедицию, которая возродит героический дух первых американских космических программ. Этот коллектив энтузиастов надеется послать беспилотный космический аппарат к Луне, возможно, уже в начале 1992 г. Это будет первый американский визит туда, с тех пор как в середине 70-х годов завершилась программа «Аполлон». Но до того как их миниатюрный корабль сможет отправиться в путешествие протяженностью почти 400 тыс. км, группе необходимо достать 12 млн. долл., построить три пункта управления в различных частях земного шара и договориться с Советским Союзом о проведении запуска.

Команда энтузиастов состоит из 25 человек, треть из которых работает в Национальном управлении по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА) и посвящает данному проекту свое свободное время. Их цель — построить лунный спутник весом не более 300 кг и с его помощью получить данные для создания химической, магнитной и гравитационной карт всей поверхности Луны, о которых в НАСА речь идет с 60-х годов. «Я жду этих данных уже 20 лет», — сказал А. Байндер, руко-

водитель проекта, который до этого в компании Lockheed проводил эксперименты для будущих полетов к Луне и Марсу, организуемых НАСА.

Подготовка частной экспедиции к



РУКОВОДИТЕЛЬ ПРОЕКТА «Лунный разведчик» А. Байндер около модели космического аппарата. Фото: Институт космических исследований.

Луне началась с объединения усилий компании Lunar Exploration, Inc., организованной группой энтузиастов космонавтики из Хьюстона, и Института космических исследований в Принстоне (шт. Нью-Джерси). Этот институт, возглавляемый почетным профессором Принстонского университета Дж. О'Нейлом, занимается проблемами использования солнечной энергии, лунных минералов и других космических ресурсов для создания внеземных поселений. Байндер был приглашен для руководства этим проектом как ученый, имеющий опыт работы по обеспечению экспедиции «Викингов» к Марсу в 1976 г., стоившей 1 млрд. долл. (Поскольку компания Lockheed согласилась сохранить за ним заработную плату, он единственный оплачиваемый член этой группы.)

Вращаясь по полярной орбите, так называемый «Лунный разведчик» (Lunar Prospector) будет способен произвести полный обзор лунной поверхности, что было невозможно до сих пор, поскольку полеты по программе «Аполлон» происходили по экваториальной орбите. Этот космический аппарат, разработкой и изготовлением которого занимается компания Omni Systems из Эль-Сегундо (шт. Калифорния), после старта будет «закручен» подобно волчку, вместо того чтобы постоянно переориентироваться с помощью реактивных двигателей.

Исследования будут проводиться на полярной орбите на высоте 100 км с помощью относительно простых приборов, способных детектировать излучение, будучи направленными как к Луне, так и от нее. Главная цель экспедиции продолжительностью в один год состоит в том, чтобы решить наконец вопрос, волнующий ученых еще с эпохи программы «Аполлон»: существует ли на лунных полюсах замерзшая вода? Если вода обнаружится, ее можно будет использовать как кислородно-водородное топливо для обеспечения лунной колонии, предложенной НАСА и президентом Бушем в качестве одного из этапов «Инициативы по космическим исследованиям», имеющей целью осуществление экспедиции на Луну и Марс в следующем десятилетии.

Тем временем НАСА выразило свою поддержку самостоятельному проекту и пожертвовало гамма-спектрометр стоимостью 2 млн. долл., который составляет сейчас основной

«доход» группы. «Я думаю, что раскулаченные люди из НАСА приветствуют это, — говорит У. Хафстатлер, директор отдела новых инициатив НАСА группы планирования проектов из Центра космических исследований им. Л. Джонсона в Хьюстоне. — Это предприятие пронизано тем духом и той активностью, которые были в эпоху проектов «Джемини» и «Аполлон», — продолжает он.

Фирма из Атланты Space Marketing Concepts, занимающаяся поддержкой космических проектов, пытается привлечь для группы энтузиастов одного или двух спонсоров среди крупных корпораций по производству питания. Одна из идей, как сколотить пару миллионов, заключается в том, чтобы организовать коллективную поддержку проекта со стороны детей: победившие в этом состязании — один ребенок из США и один из СССР, получают право нажать кнопку запуска советской ракеты, которая доставит космический аппарат к Луне.

В декабре 1990 г. представители проекта «Лунный разведчик» должны были второй раз посетить Советский Союз для обсуждения условий запуска в советском НПО «Энергия». Байндер сказал, что у него есть «заявление о намерениях», в котором сообщается, что Советский Союз осуществит запуск по установленной цене: «Они захотели влиться в космический коммерческий бизнес и осуществить полномасштабную экспедицию на лунную полярную орбиту. Они за полную гласность и хотят быть нашими соратниками».

Станет ли возможной частная научная экспедиция, не приносящая прямого дохода, никто пока не знает. Но если эта команда осуществит свою идею, то НАСА будет вынуждено пересмотреть свой подход к дорогостоящим космическим программам. «Мы пытаемся напомнить всем, что можно совершать простые экспедиции, используя то, что уже имеется», — говорит Байндер.

Йельские дизайнеры используют метод конечных элементов

ВЕСНОЙ этого года группа студентов Йельской драматической школы овладеет математическим методом, с помощью которого создавался бомбардировщик «Стелт». Однако вместо того, чтобы изготавливать самолеты-невидимки, выпускники школы пойдут работать на Бродвей и в театральные студии, где будут конструировать 10-метровых драконов-роботов или декорации весом в 20 тонн.

Официальное введение курса расчета методом конечных элементов представляет собой попытку пойти дальше, чем это предусматривается методологией проектирования театральных декораций, которая не менялась принципиально с тех времен, когда рабочие сцены на успех сооружали их в шекспировском театре «Глобус». «Вы строите что-то, оно рушится, тогда вы строите что-нибудь более мощное и прочное», — говорит Б. Сэммер, декан факультета художественного проектирования Йельской драматической школы.

Повышение внимания к оформлению сцены вызвано тем, что дорогостоящие бродвейские спектакли, оперы и даже постановки в провинциальных театрах должны сопровождаться специальными эффектами и украшаться сложнейшими декорациями, чтобы увлечь публику, пресытившуюся кино и телевидением.

Метод конечных элементов в настоящее время используется для определения точечного напряжения в автомобилях, реактивных истребителях и даже наколенниках профессиональных футболистов. В проектировании театральных декораций этим методом предусматривается использование матриц, полученных из систем уравнений для вычисления деформаций и напряжений при приложении нагрузки (например, оперно-го певца весом 100 кг) к системе конечных элементов: трубам, двутавровым балкам и другим составным ча-

стям, образующим стальной каркас, поддерживающий нависающую над сценой площадку, на которой стоит человек.

Чтобы овладеть этим методом, дизайнерам не придется ломать голову над решением уравнений. Все расчеты сделает персональный компьютер с помощью программы *Algor*. Студенты будут осваивать программу, используя при этом в качестве учебного пособия диссертацию на получение степени магистра Д. Суорда.

Программное обеспечение упрощает процесс проектирования благодаря тому, что пользователю достаточно построить на экране трехмерную модель и ввести несколько переменных величин, например, тип материала, толщину и прочность на разрыв. Затем компьютер решает уравнения и составляет схему, на которой красным цветом обозначаются участки наивысшего напряжения.

Выпускники Йельской школы уже стали активными пропагандистами нового метода, а театр «Метрополитен-опера» в Нью-Йорке первым использовал его. После завершения в 1988 г. в Йеле диссертации на степень магистра, посвященной расчету методом конечных элементов, Дж. Уэбб был принят на работу в этот театр на должность специалиста по художественному проектированию. В ходе работы над декорациями для оперы Вагнера «Летучий голландец» ему предстояло внести изменения в

проект 15-метровой лестницы из стальных труб, спускающейся с плывущего корабля. Компьютер показал, что ступени должны немного пружинить под весом ступающего по ним певца.

В настоящее время Уэбб пытается использовать и другие программы из своего арсенала инженера-дизайнера. Так что, судя по всему, компьютерные методы создания самолета-невидимки могут принести весьма ощутимую пользу тем, кто работает за театральными кулисами.



МЕТОД конечных элементов помог спроектировать декорации к опере Вагнера «Летучий голландец».

Проблема сворачивания полипептидной цепи белков

Согласно теории, все, что необходимо знать для предсказания характера укладки полипептидной цепи белка в биологически активную структуру, — это последовательность образующих его аминокислот. Почему, однако, не удастся применить эту теорию на практике?

ФРЕДЕРИК М. РИЧАРДС

В КОНЦЕ 1950 г. Х. Анфинсен и его коллеги из Национального института здоровья сделали замечательное открытие. Они занимались исследованием проблемы, давно возникшей в биологии: какие факторы приводят к укладке вновь образованной цепи белка, которая сначала подобна рыхло скрученному шнуру и не активна, в специфически свернутую (в форме глобулы) молекулу, способную эффективно функционировать в живых клетках? Ответ, найденный в результате этих исследований, оказался более простым, чем можно было представить.

Аминокислотная последовательность полипептидной цепи — одномерная нить — достаточна для укладки белковой молекулы в специфическую трехмерную структуру, обладающую биологической активностью. (Белки построены из набора, включающего 20 аминокислот, которые образуют цепь в соответствии с «программой», закодированной в генах.) Другие факторы, в частности ферменты, которые могли бы катализировать сворачивание цепи, не участвуют в этом процессе, по крайней мере во многих случаях.

Это открытие, которое было многократно подтверждено для сравнительно небольших белков, позволяет предполагать, что силы, определяющие правильную укладку полипептидной цепи, — это силы взаимодействий, хорошо известные физикам и химикам. Таким образом, если определена последовательность аминокислот белка, то все, что должно рассматриваться далее, — это свойства индивидуальных аминокислот и их поведение в водном растворе. (Содержимое большинства клеток на 70—90% состоит из воды.)

В действительности предсказать конформацию белка на основании его аминокислотной последовательности

далеко не просто. Уже более 30 лет после открытия Анфинсена сотни исследователей работают над решением проблемы специфической укладки полипептидной цепи белков.

Решение этой проблемы выходит за рамки чисто научного интереса. Многие важные продукты быстро развивающейся биотехнологии представляют собой новые белки. В настоящее время можно конструировать гены, обеспечивающие синтез этих белков. Однако остается проблема укладки полипептидной цепи.

Еще некоторое время назад исследователи теряли надежду на то, что решение ее вообще будет когда-либо найдено. Однако в последнее время успехи в области теории и эксперимента в сочетании с растущими запросами промышленности вселяют оптимизм.

Подробная информация получена в основном при изучении структуры небольших водорастворимых глобулярных белков, содержащих около 300 (или менее) аминокислот. Относительное значение правил укладки для этих белков может быть несколько иным, чем для других, в первую очередь, длинных фибриллярных белков, а также белков клеточных мембран. Так, недавно было показано, что в укладке некоторых крупных белков участвуют другие белки, получившие название шаперонинов. Эти сложные вопросы не будут рассматриваться в данной статье, наше внимание будет сконцентрировано только на самопроизвольной укладке, которая характерна для очень многих белков.

Было бы замечательно, если бы у исследователей имелся микроскоп с разрешением на атомном уровне, ко-



торый позволил бы проследить процесс укладки индивидуальных белковых молекул от вытянутого нестабильного состояния до более стабильного конечного (нативного) состояния. Набор промежуточных состояний позволил бы зафиксировать все этапы этого процесса. К сожалению, такого прибора не существует. Исследователи должны использовать косвенные методы и быть очень осторожными в оценках.

Существенную информацию для выяснения правил укладки можно получить на основе изучения трехмерных структур развернутых и полностью «свернутых» белков с учетом свойств индивидуальных аминокислот и небольших пептидов (линейные цепочки аминокислот). Молекулярная архитектура сотен нативных белков уже установлена с помощью таких мощных методов, как рентгеноструктурный анализ и — в последнее время — ядерный магнитный резонанс (ЯМР). Оба этих метода, а также теоретические работы по компьютерному моделированию укладки полипептидной цепи белков успешно развивались в последнее десятилетие.

Отдельные аминокислоты состоят из центрального атома углерода, называемого α -углеродом, соединенного с аминогруппой (NH_2), карбоксильной группой (COOH) и боковой цепью. Различия между аминокислотами обусловлены, следовательно, различиями формы, размера и полярности их боковых цепей. Форма и размер влияют на упаковку аминокислот в нативной молекуле. Полярность (или ее отсутствие) определяет приро-

ду и силу взаимодействий между аминокислотами в белке, а также между белком и водой.

Например, полярные аминокислоты сильно взаимодействуют друг с другом в результате электростатических взаимодействий. Молекулы считаются полярными, если они либо несут заряд (благодаря потере или приобретению электронов), либо, будучи электронейтральными в целом, имеют определенные участки, в которых доминируют положительные или отрицательные заряды. (Положительные заряды обусловлены протонами атомного ядра, отрицательные — электронами, окружающими ядро.) Молекулы притягиваются, если сближены их противоположные заряженные участки, и отталкиваются, если сближены одинаково заряженные участки.

Неполярные аминокислоты также могут притягиваться или отталкиваться (однако слабее) в результате вандерваальсовых взаимодействий. Электроны и протоны постоянно колеблются, и это приводит к взаимному притяжению разных молекул, расположенных близко друг к другу. Притяжение сменяется отталкиванием, когда молекулы вступают в контакт друг с другом.

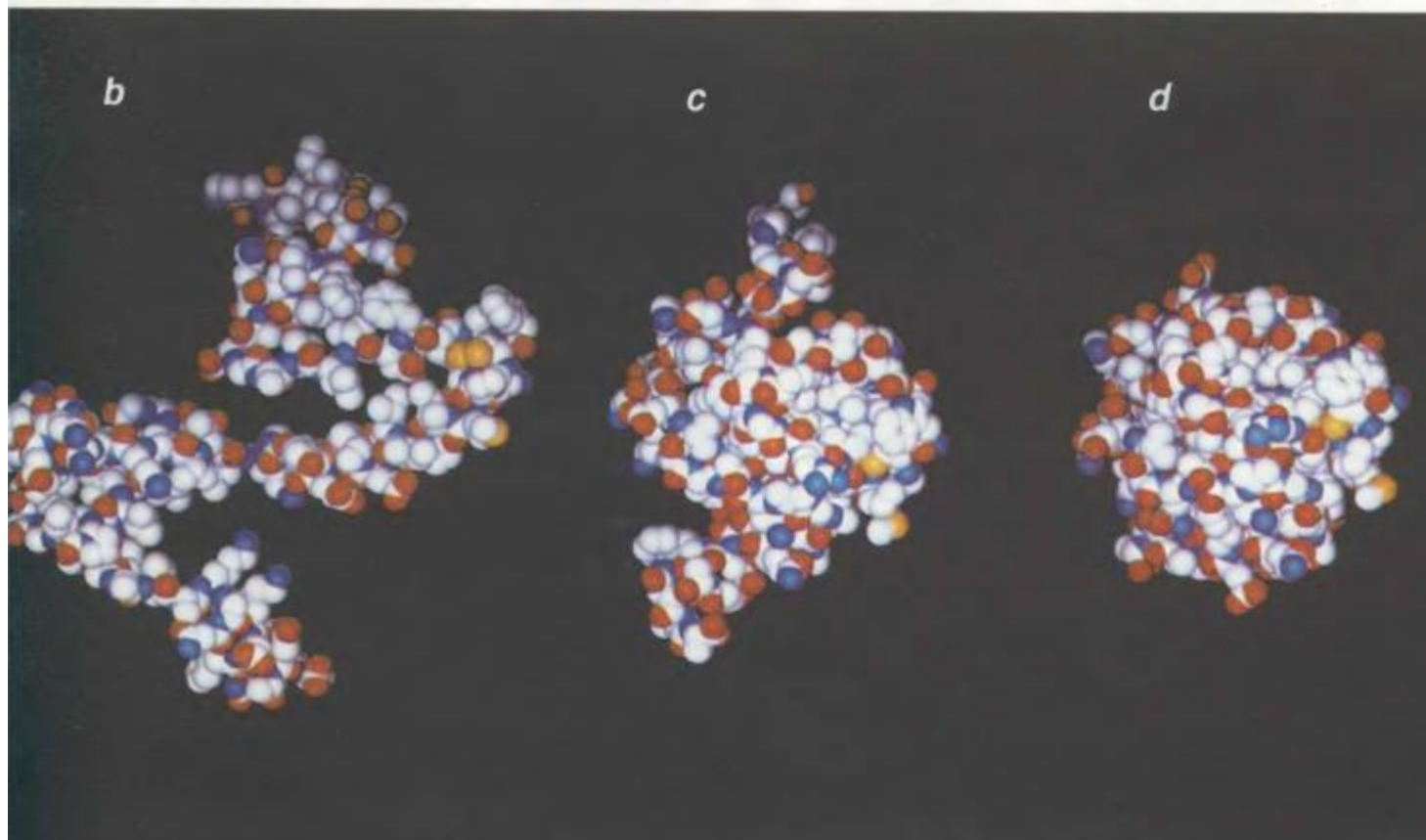
В водных растворах полярные аминокислоты проявляют гидрофильные свойства: они притягивают полярные молекулы воды. Неполярные аминокислоты, боковые цепи которых образованы в основном углеводородными структурами, напротив, проявляют гидрофобные свойства: они плохо «смешиваются» с водой и «предпочитают» связываться друг с другом.

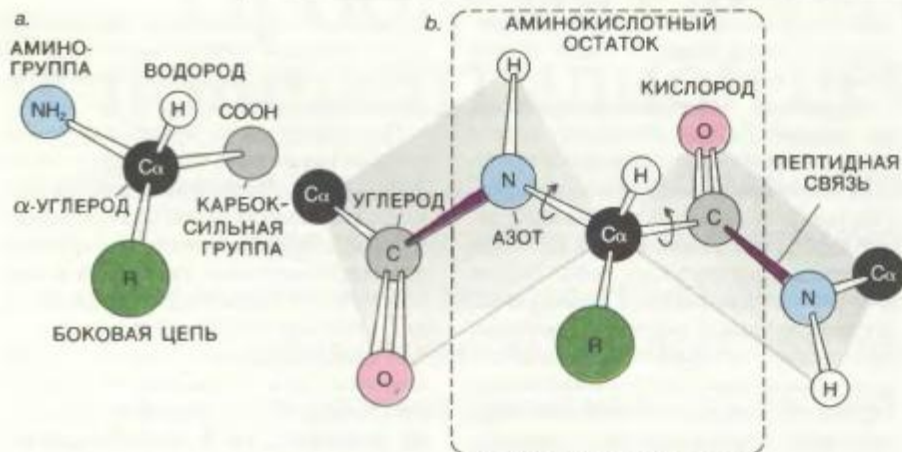
Можно считать, что они «выдавливаются» из воды из-за сильного взаимодействия между окружающими их полярными молекулами.

Пептидная связь между аминокислотами также влияет на укладку цепи; она сильно ограничивает выбор возможных конформаций белкового остова (повторяющейся серии α -углеродов, карбоксильных углеродов и азотов аминокислот в полипептидной цепи). Пептидная связь образуется, когда карбоксильный углерод одной аминокислоты связывается с азотом аминокислоты следующей за ней в цепи аминокислоты и высвобождается молекула воды. Эта связь между аминокислотами, которые в составе цепи называют «аминокислотными остатками», весьма прочная.

Поэтому вращение вокруг пептидной связи сильно ограничено. Атомы, находящиеся между α -углеродами, удерживаются в одной плоскости; по существу, они образуют весьма жесткую плоскость. Укладка полипептидной цепи осуществляется в основном

СВОРАЧИВАНИЕ цепи белка тиоредоксина показывает в общем, как сворачиваются другие небольшие белки: первоначально открытая нестабильная цепь (a) становится все более компактной (b и c) и принимает сферическую форму (d). Показаны вероятные интермедиаторы при сворачивании тиоредоксина, поскольку их форма, как и интермедиатов большинства белков, окончательно неизвестна. Белые шарики — атомы углерода, красные — атомы кислорода, синие — атомы азота, желтые — атомы серы.





АМИНОКИСЛОТЫ (а) связаны в белке (б) прочными связями, образованными атомом углерода карбоксильной группы одной аминокислоты и атомом азота аминогруппы следующей за ней аминокислоты. Образующаяся связь, которую называют пептидной, жестко удерживает соседние атомы в одной плоскости, поэтому она ограничивает число возможных конформаций белка. Сворачивание цепи осуществляется в основном путем вращения вокруг осей связей, соединяющих центральный α -углеродный атом с атомом азота аминогруппы и атомом углерода карбоксильной группы.

в результате вращения таких плоскостей вокруг других связей — тех, которые связывают эти плоскости с α -углеродами.

ИССЛЕДОВАНИЕ денатурированных (развернутых) белков также дает определенную информацию о

том, каким образом может осуществляться укладка. Развернутые, а также вновь образованные полипептидные цепи белков часто называют неупорядоченными клубками, поскольку ни одна из областей остова цепи не отличается существенно от другой. Однако в такой цепи, вероятно, име-

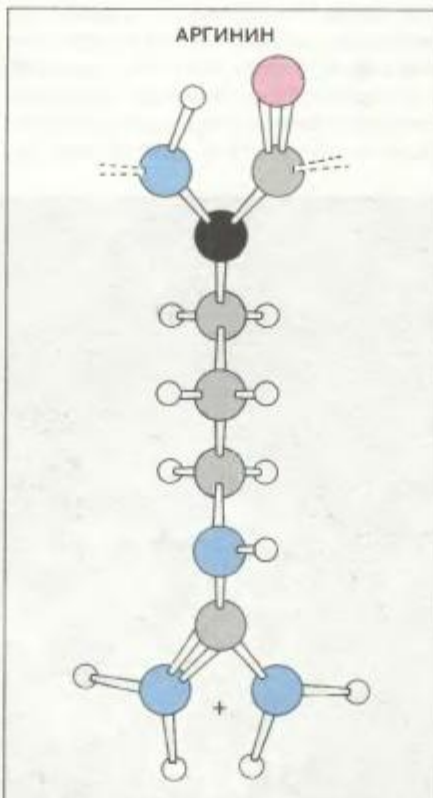
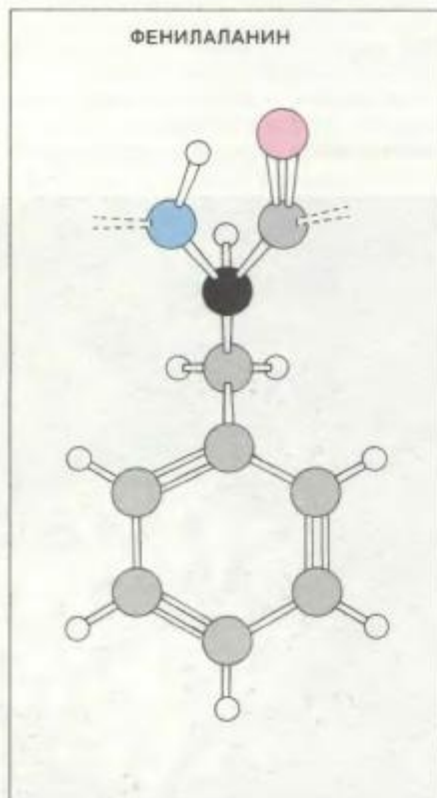
ются области, которые своеобразно скручены, ассоциированы или иным образом отличаются от остальной части молекулы. Некоторые из этих субструктур, по-видимому, являются нестабильными и флуктуирующими и могли бы служить в качестве «затравок», вокруг которых в конечном счете образуются стабильные структурированные области.

О свернутом состоянии белков известно значительно больше, чем о развернутом. Большую часть остова компактной нативной молекулы можно разделить на области, обладающие вторичной структурой, которые представляют собой четко сформированные сегменты характерной формы. (Последовательность аминокислот называют первичной структурой.) Элементы вторичной структуры разделяют на три главные группы: спирали (главным образом так называемые α -спирали), β -складчатые листы» или β -слои, а также изгибы, соединяющие спирали и «складчатые листы» (см. рисунок на с. 29). В β -складчатых листах» остов цепи вытянут или растянут, в β -слоях два или более параллельных или антипараллельных «складчатых листов» расположены рядами.

Элементы вторичной структуры могут комбинироваться друг с другом, образуя «мотивы», или супервторичные структуры; ансамбль всех элементов вторичной структуры называют третичной структурой. Идентифицирован ряд классов третичной структуры: α -спиральный класс, класс « β -складчатых листов» и определенным образом расположенные комбинации α -спиралей и β -структур.

В связи с наличием различных элементов вторичной структуры возникло предположение о том, что некоторые аминокислоты благоприятствуют формированию определенных вторичных структур. Например, одни аминокислотные остатки чаще встречаются в спиральных, чем в других элементах вторичной структуры, в то время как другие преимущественно входят в состав β -слоев. Однако такого типа статистические корреляции не имеют предсказательной силы.

Ряд других наблюдений показывает, как и можно было ожидать из гидрофобных и гидрофильных свойств определенных аминокислот, что тенденция молекул воды и неполярных остатков «избегать» друг друга оказывает сильное влияние на конечную форму белка. Внутренняя область нативной белковой глобулы в основном свободна от воды и содержит главным образом неполярные гидрофобные аминокислоты. В то же время аминокислотные остатки, несущие



РАЗЛИЧИЯ формы, размера и полярности аминокислот обусловлены различиями их боковых цепей. Например, у фенилаланина боковая цепь неполярная и циклическая, тогда как у аргинина она сильно полярная и линейная.

заряды, почти всегда локализируются на поверхности глобулы и находятся в контакте с водой. Остатки полярных аминокислот расположены как на поверхности, так и внутри глобулы, однако в последнем случае они соединяются с другими полярными группами в результате образования водородных связей. Такие связи, в которых два атома (обычно азот и кислород) взаимодействуют благодаря обобществленному атому водорода, позволяют полярным остаткам находиться в глубине глобулы в достаточно «комфортных» условиях — без контакта с водой.

Таким образом, одно из правил укладки глобулы состоит в том, что контакт между молекулами воды и гидрофобными аминокислотами должен быть ограничен, насколько это возможно; однако этого общего правила недостаточно для того, чтобы предсказать, где окажутся определенные остатки. Например, невозможно предсказать, какие неполярные остатки будут расположены на поверхности глобулы.

ДРУГОЕ общее правило укладки, основанное на данных другого типа, устанавливает существенные пространственные ограничения. Глобула белка должна быть упакована компактно, однако пространство ее должно быть заполнено таким образом, чтобы соседние атомы не перекрывались. Структурные исследования показывают, что в сформированном белке аминокислоты в общем упакованы столь же плотно, как могли бы быть упакованы другие небольшие органические молекулы. Компьютерное моделирование позволяет с уверенностью предполагать, что в нативном белке (за редким исключением) длина связей между атомами и углы между связями идентичны тем, которые найдены в небольших органических молекулах.

Исследователи согласны в отношении деталей строения сформированных белков, но их мнения расходятся по ряду других аспектов, например, о характере и числе путей укладки.

С одной стороны, высказано предположение, согласно которому вновь образованная полипептидная цепь «перебирает» все возможные конформации и находит уникальную стабильную структуру нативного белка. Однако Г. Левинталь из Массачусетского технологического института еще несколько лет назад отметил, что молекула белка не имеет возможности «перебрать» все возможные конформации в течение времени, которое требуется для сворачивания цепи, — максимально несколько секунд.

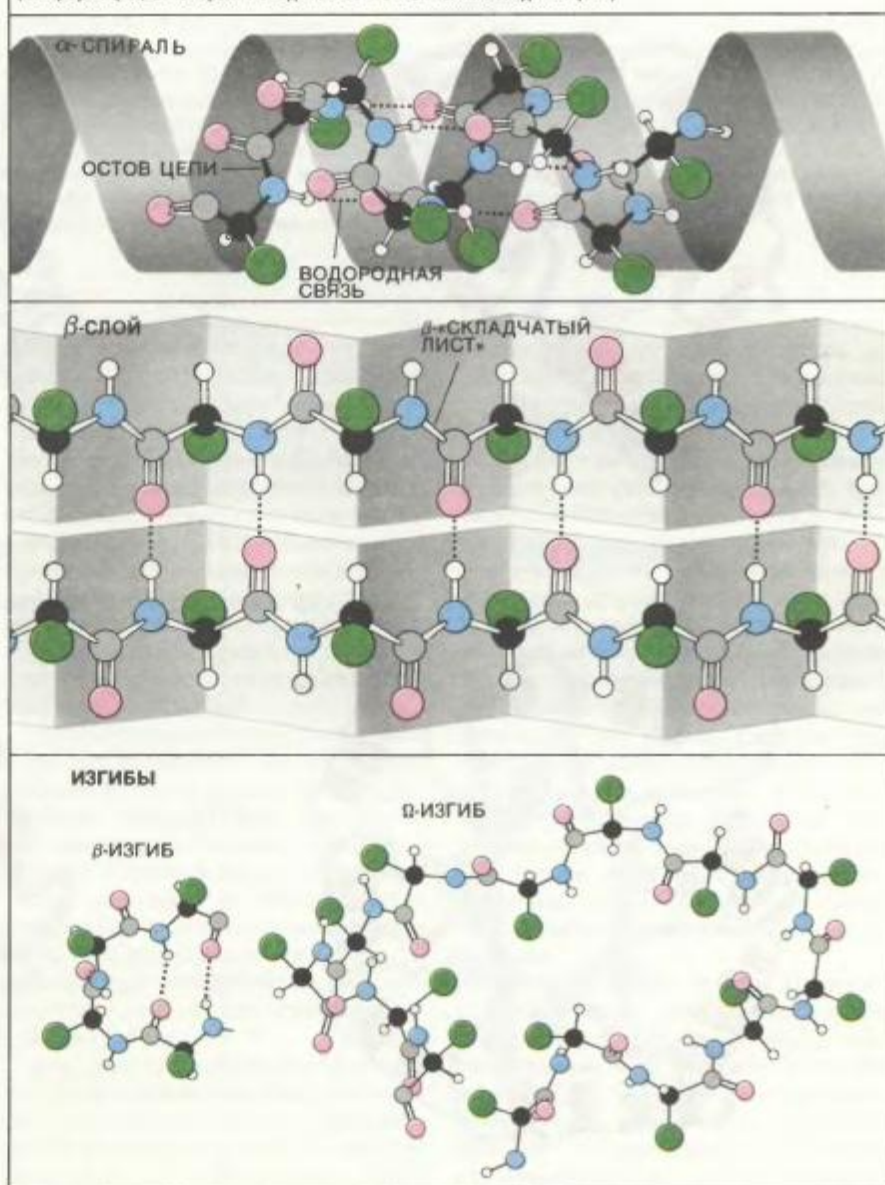
С другой стороны, есть представление, что укладка полипептидной цепи происходит по одному определенному пути; каждая молекула данного белка становится компактной, проходя определенную последовательность стадий. Учитывая большое число конформаций, которые может принимать развернутая молекула, это представление также не является убедительным. Оно напоминает ситуацию, когда каждый прибывающий в Нью-Йорк въезжает в город по шоссе Interstate 95 независимо от того, откуда он выехал.

Согласно еще одному предположению, допускающему один или несколько путей укладки, наибольшее значение сначала имеет гидрофобный эффект; его вклад значительно больше электростатических взаимодейст-

вий или пространственных факторов. Эта концепция предполагает, что пептидная цепь быстро коллапсирует приблизительно до размера конечной глобулы, при этом гидрофобные аминокислоты выходят из контакта с водой. Затем в этом состоянии молекула быстро реорганизуется, приобретая свойственные ей вторичную и третичную структуры. С формальной точки зрения эта модель представляется неправдоподобной, так как для осуществления реорганизации глобула должна была бы раскрываться. Тем не менее в пользу такой модели свидетельствуют некоторые экспериментальные данные.

Согласно модели, которая в настоящее время представляется наиболее удачной, у большинства белков сначала формируется вторичная структу-

ВТОРИЧНЫЕ СТРУКТУРЫ В БЕЛКАХ
(конформации, в которых находятся сегменты полипептидной цепи)



ра, а затем происходит компактизация. Сворачивание молекул данного белка может происходить разными путями, но число таких путей ограничено. Для этой модели были предложены варианты, в том числе так называемая каркасная модель Р. Болдина из Станфордского университета и П. Кима из Института медико-биологических исследований Уайтхеда.

Развернутая полипептидная цепь быстро образует ограниченно стабильные сегменты вторичной структуры. Некоторые из этих сегментов взаимодействуют; если они компактно упаковываются друг с другом или легко образуют между собой связи, то они стабилизируют друг друга по

крайней мере временно. Стабилизированные сегменты, или микродомены, трансформируют конформацию молекулы в направлении большей структурной организации путем ассоциации с другими сегментами, способствуя образованию контактов между первоначально удаленными друг от друга сегментами.

Характерной особенностью модели такого рода является предположение о существенном вкладе гидрофобных взаимодействий. Часть энергии этих взаимодействий затрачивается на образование вторичных элементов, а остальная часть промотирует ассоциацию этих элементов с образованием третичной структуры.

ДАННЫЕ о структурах интермедиатов, которые обычно образуются на промежуточных стадиях при переходе к нативному состоянию, могли бы помочь сформулировать правила укладки. К сожалению, обнаружить интермедиаты весьма трудно, частично потому, что сворачивание цепи — это высококооперативный процесс. Взаимодействия, которые способствуют этому процессу в одной части молекулы белка, промотируют его также в других ее частях; следовательно, интермедиаты не могут существовать долго. Тем не менее с помощью тонкой техники можно получить определенные характеристики некоторых интермедиатов.

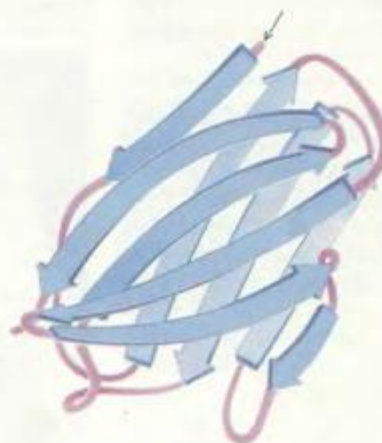
КЛАССЫ ТРЕТИЧНОЙ СТРУКТУРЫ БЕЛКОВ

α -СПИРАЛИ



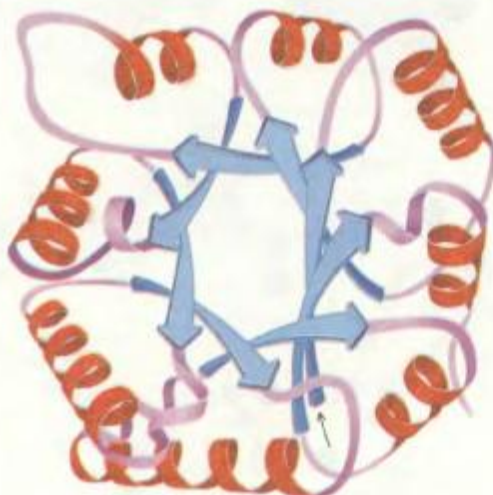
β -СУБЪЕДИНИЦА ГЕМОГЛОБИНА

β -«СКЛАДЧАТЫЕ ЛИСТЫ»



ДОМЕН V_L МОЛЕКУЛЫ ИММУНОГЛОБУЛИНА

α -СПИРАЛИ И β -«СКЛАДЧАТЫЕ ЛИСТЫ»



ТРИОЗОФОСФАТИЗОМЕРАЗА



ДОМЕН 2 АЛКОГОЛЬДЕГИДРОГЕНАЗЫ

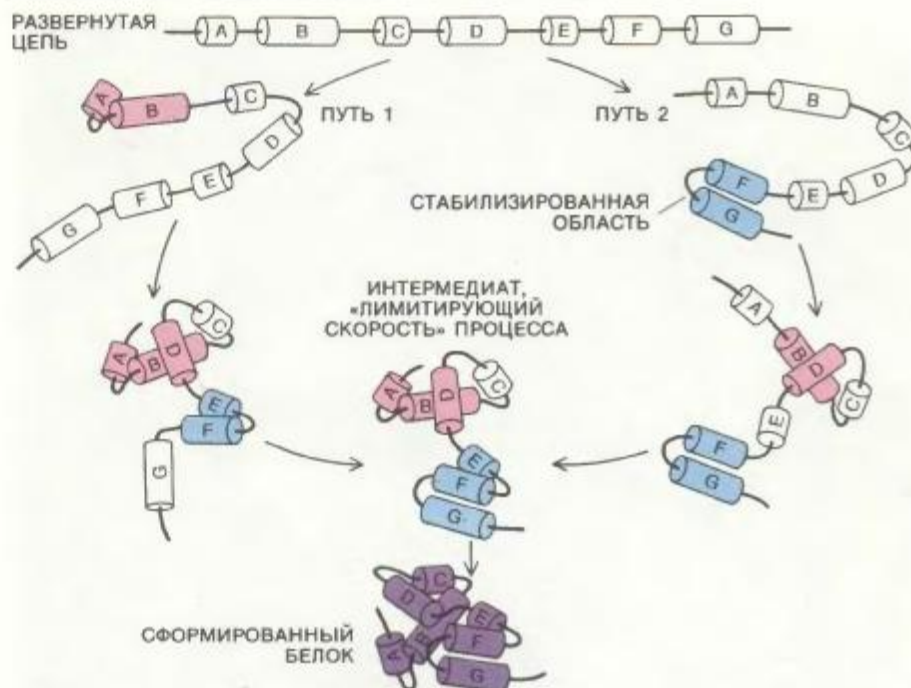
В настоящее время, например, имеются убедительные данные о том, что при сворачивании ряда белков образуются интермедиаты, имеющие большие размеры, чем нативная молекула, и обладающие сформированными элементами вторичной структуры. О.Б. Птицын из Института белка АН СССР в Пушкино называет эти структуры «расплавленной глобулой». Однако существование таких структур остается загадочным.

Поскольку объем такого интермедиата больше, чем нативной молекулы, он должен включать значительное количество воды, и многие боковые цепи пептидной цепи должны находиться в контакте с водой. Однако гидрофобные взаимодействия должны были бы вытеснить воду из глобулы. Каким образом в этих условиях может существовать стабильный интермедиат, который можно наблюдать? Какова его истинная структура? На эти интригующие вопросы пока еще нет ответа.

В других экспериментах Т. Крайтон и его коллеги из Кембриджской лаборатории молекулярной биологии Совета медицинских исследований (Англия) изучали сворачивание цепи белка — ингибитора трипсина из поджелудочной железы (РТИ). В процессе формирования глобулы у РТИ, как и у многих других белков, образуются внутрицепочечные дисульфидные связи. Дисульфидная связь (S—S) соединяет атомы серы боковых цепей двух остатков цистеина. Крайтон и его коллеги сначала «развернули» нативный белок, а затем начали осуществлять процесс сворачивания, останавливая его на различных стадиях. В результате были получены интермедиаты, которые можно было идентифицировать по образованию определенных дисульфидных связей. Таким образом, в первый раз был прослежен путь сворачивания.

Полностью структуры интермедиатов еще не известны, однако получены данные, свидетельствующие о том, что сворачивание необязательно происходит по единственному прямому пути. При сворачивании молекулы РТИ появляются, а затем исчезают интермедиаты с такими дисульфидными связями, которых нет в нативной молекуле. Другими словами, отдельные фрагменты формирующейся глобулы, вероятно, функционируют в известной мере подобно хозяину дома на вечеринке, который знакомит близких по интересам гостей парами, а когда они вступают в беседу, он их оставляет и уходит к другим гостям.

Изучая основной предполагаемый интермедиат при формировании глобулы РТИ, Ким и Т. Оас из Института



ВЕРОЯТНАЯ МОДЕЛЬ сворачивания цепи белка предусматривает несколько энергетически благоприятных путей этого процесса, хотя показаны только два возможных пути. Сначала в цепи формируются области нестабильной структуры (незакрашенные цилиндры). Ассоциация соседних областей стабилизирует их (цветные цилиндры). Сформировавшиеся стабилизированные микродомены ускоряют ассоциацию других областей и таким образом способствуют структурной организации молекулы. На каждом пути образуется один или несколько интермедиатов, «определяющих скорость» процесса, однако в итоге формируется одна и та же конечная конформация белка.

Уайтхеда получили данные, согласно которым некоторые фрагменты молекулы образуют только временные ассоциаты, другие же — сразу образуют стабильные структуры. Учитывая данные Крайтона о том, что в начале процесса сворачивания два специфических «тяжа» молекулы связываются дисульфидной связью и образующаяся связь сохраняется в нативной глобуле, они поставили вопрос: образуется ли супервторичная структура, которая сохраняется в нативном РТИ в области, окружающей эту дисульфидную связь?

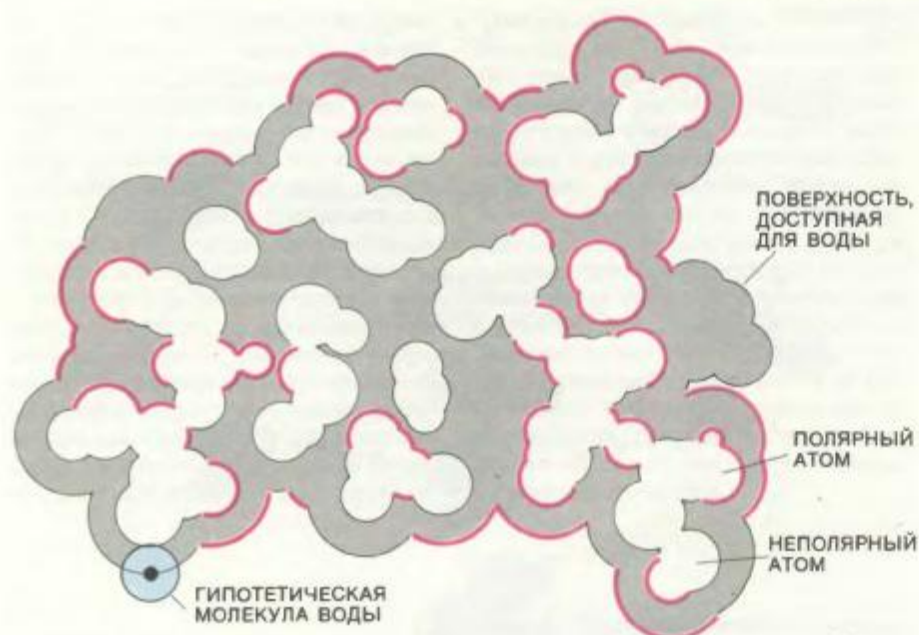
Для проверки этого предположения были синтезированы два соответствующих пептида, каждый из которых включал один из двух цистеинов, участвующих в образовании стабильной дисульфидной связи. Эти сравнительно небольшие пептиды не имели определенной конформации, однако когда они соединялись в растворе, то приобретали конформацию, весьма сходную с той, которая имеется в нативной глобуле.

Эти данные свидетельствуют о том, что нативноподобные структуры действительно могут образовываться на начальных стадиях формирования глобулы и позволяют пред-

полагать, что определенные участки молекулы могут вносить более существенный вклад, чем другие, при инициировании сворачивания цепи. Полученные данные указывают также на то, что взаимодействия между внешне неструктурированными сегментами белка могут ускорять формирование вторичной структуры.

Интермедиаты изучались также с помощью другого интересного подхода с использованием метода изотопного обмена водорода пептидных групп, участвующих в образовании внутренних водородных связей во всех нативных белках. Сначала осуществлялся обмен атомов водорода (H), связанных с азотом, участвующим в образовании пептидных связей, на изотоп водорода — дейтерий (D) путем инкубации развернутых белковых цепей в тяжелой воде (D₂O). Затем инициировалось сворачивание.

В этих условиях вместо водородных образуются «дейтериевые» связи (N—D—O). Через определенное время тяжелую воду заменяли обычной водой (H₂O). При этом «незащищенные» атомы дейтерия, не образующие дейтериевую связь, заменяются атомами водорода воды; далее свора-



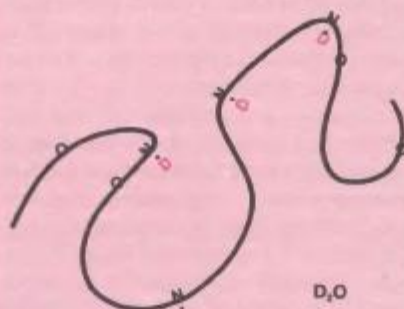
КОНЦЕПЦИЯ «ДОСТУПНОЙ ДЛЯ ВОДЫ» поверхности позволяет оценить силу, с которой вода действует на молекулу в водном растворе. Доступная для воды поверхность (внешняя линия) показана для тонкого среза белка, она определяется путем прослеживания пути центра воображаемой молекулы воды при ее скольжении вдоль поверхностных атомов белковой молекулы. Поверхность может быть гидрофильной (розовая линия) и гидрофобной (черная линия) в зависимости от того, являются ли ее атомы полярными или неполярными. При большой гидрофобной поверхности происходит сжатие глобулы, а при большой гидрофильной поверхности — расширение. При сворачивании цепи белка доминирует сила сжатия.

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТРУКТУРЫ ИНТЕРМЕДИАТОВ

1. ВЫБИРАЕТСЯ РАЗВЕРНУТАЯ ЦЕПЬ



2. АТОМЫ ВОДОРОДА ОБМЕНЯЮТСЯ НА ДЕЙТЕРИЙ (D) ПУТЕМ ИНКУБАЦИИ В D₂O



3. НАЧИНАЮТ ПРОЦЕСС СВОРАЧИВАНИЯ ЦЕПИ



4. ОБМЕНЯЮТ АТОМЫ ДЕЙТЕРИЯ, НЕ УЧАСТВУЮЩИЕ В ДЕЙТЕРИЕВЫХ СВЯЗЯХ, НА АТОМЫ ВОДОРОДА; ПРОДОЛЖАЮТ ПРОЦЕСС СВОРАЧИВАНИЯ ЦЕПИ



чивание полипептидной цепи проводили до завершения.

Идентифицируя области сформировавшейся глобулы, которые содержат необменный дейтерий, можно определить, какие части молекулы сворачиваются раньше других. Кроме того, данные ряда экспериментов, в которых время обмена дейтерия последовательно увеличивается, могут в принципе позволить установить последовательность формирования разных интермедиатов.

С помощью этого метода Х. Родеру из Пенсильванского университета удалось показать, что при сворачивании цепи белка цитохрома с первой стадией является ассоциация двух спиралей, находящихся на противоположных концах цепи. При исследовании рибонуклеазы Болдуин и его коллега Дж. Удгаонкар из Станфордского университета показали, что β -слой, находящийся в середине молекулы, образуется на первых стадиях сворачивания. Такие данные, хотя и не позволяют установить общие правила укладки глобулы, свидетельствуют об эффективности метода для выяснения путей сворачивания полипептидной цепи.

Экспериментаторы не ограничиваются изучением интермедиатов. Некоторые исследователи изучают сворачивание белковых молекул с помощью методов генетической инженерии, позволяющих установить влияние замены аминокислот, делеций и вставок на структуру белка и процесс формирования глобулы.

В настоящее время экспериментальные данные, а также результаты компьютерного моделирования свидетельствуют о том, что замена в белке одного или даже нескольких аминокислотных остатков обычно не приводит к изменению нативной конформации. Другими словами, формирование глобулы зависит не от нескольких ключевых аминокислот, оно связано с более глобальными характеристиками аминокислотной последовательности. Напротив, только небольшая часть молекулы белка обуславливает его биологическую активность. Замещение отдельных аминокислот в области активного центра может резко повлиять на биологические свойства, даже если при этом общая структура белка остается неизменной.

Сю Пэн Хо и У. Деграло из du Pont Company и независимо Джейн и Дейвид Ричардсоны из Университета Дюка пытаются сконструировать новые белки, которые при сворачивании принимают определенную конформацию. Они проверяют различные гипотезы, например о том, что определенные последовательности гидрофоб-

ных и гидрофильных аминокислот имеют тенденцию образовывать α -спирали и затем кластер спиралей.

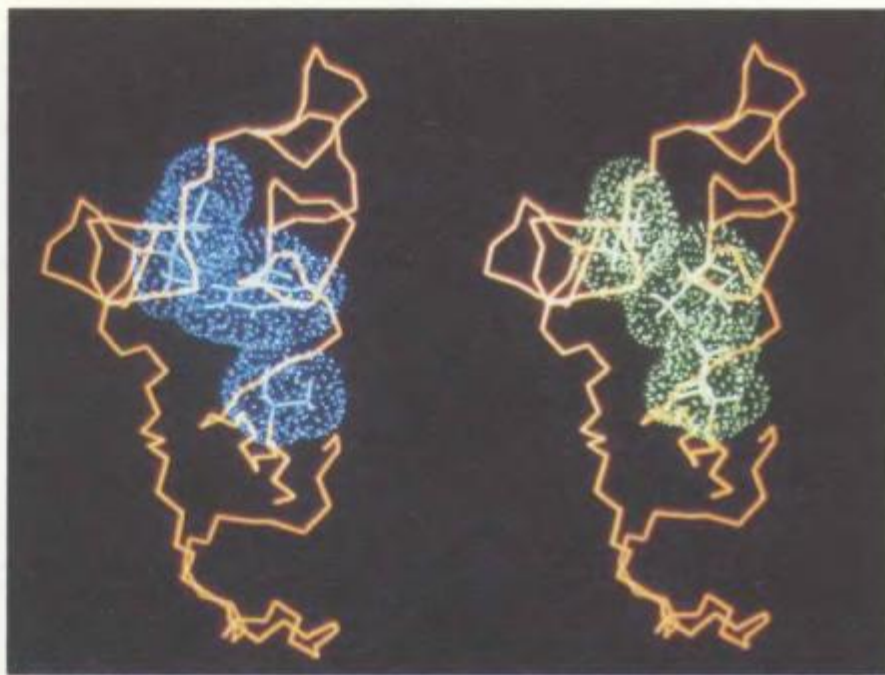
Им удалось сконструировать белки, обладающие специфической молекулярной архитектурой. В то же время эти исследователи пока еще далеки от того, чтобы иметь возможность предсказывать третичную структуру конкретного белка на основании его аминокислотной последовательности (если об этом белке не имеется дополнительной информации).

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ исследования дополняют эксперименты. Например, структура сформированного белка может быть определена математическими методами с использованием функции потенциальной энергии. В компьютер вводят множество численных значений, характеризующих силы притяжения между всеми парами атомов в полипептидной цепи. Затем компьютер подбирает такие координаты атомов, при которых полная энергия молекулы снижается до минимума, т. е. до состояния, при котором все последующие изменения координат приводят к увеличению энергии. (В общем случае принимают, что конечные структуры белков обладают минимальной энергией.)

Полученная функция учитывает такие факторы, как влияние энергии, длины, растяжения и скручивания связей, а также электростатические взаимодействия, водородные связи и вандерваальсовы силы. Этот подход оказался полезным для подтверждения или улучшения моделей структур, которые были установлены в экспериментах.

В случае белковых молекул, о нативных структурах которых ничего неизвестно, возникают, однако, трудности. Ряд величин, вводимых в уравнения, имеют приближенные значения. Далее, нет возможности установить, является ли получаемый минимум энергии абсолютным или же он просто соответствует промежуточному низкоэнергетическому состоянию. В настоящее время теория не позволяет установить, каково значение абсолютного минимума энергии.

В другом теоретическом подходе, который может позволить в конечном счете описать динамику сворачивания полипептидной цепи белков М. Карплюс из Гарвардского университета применил законы ньютоновской механики к атомам белковой молекулы. Силы, действующие на атомы в данном состоянии, оценивают с помощью функции потенциальной энергии. Затем на компьютере рассчитывают ускорение каждого атома и его перемещение за крайне малый интервал времени.



КОНФОРМАЦИЯ укладки внутренней части глобулы белка крамбина (слева), показанная в основном цепью α -углеродных атомов (оранжевые), образуется при плотной упаковке пяти неполярных аминокислот (синие). Эта конформация сохраняется в смоделированном на компьютере «мутанте» (справа) даже тогда, когда четыре из пяти аминокислот заменены другими. Многие комбинации аминокислот могут находиться в одной и той же конформации, если при заменах аминокислот примерно сохраняются их форма и объем. От сведений о том, как упаковываются молекулы аминокислот, весьма большой путь до возможности предсказания окончательной формы белка.

Путем последовательных расчетов в пределах времени, зависящего от возможностей компьютера, программа позволяет определить перемещение каждого отдельного атома. Таким образом, появляется возможность оценить влияние незначительных мутаций структуры на стабильность белка и его динамическое поведение. Однако ограниченные возможности компьютера не позволяют проследить жизнь белковой молекулы в течение более нескольких наносекунд; этот интервал слишком мал, чтобы можно было выяснить характер сворачивания полипептидной цепи.

Несмотря на эти ограничения, теоретические работы, основанные на использовании функции потенциальной энергии, весьма обнадеживают. Такие исследования могут позволить, в частности, оценить относительный вклад электростатических и вандерваальсовых взаимодействий при формировании структуры белка. Влияние этих сил может оказаться решающим, поскольку сформированный белок лишь незначительно более стабилен, чем развернутая полипептидная цепь. (Небольшое различие энергии между стабильным и нестабильным состояниями может отражать потребности клетки быстро инактивировать белки, когда в этом возникает необходимость.)

В БУДУЩЕМ на основе расчетов с использованием функции потенциальной энергии можно будет предсказывать третичную структуру любого белка по его аминокислотной последовательности. В то же время появляются другие менее фундаментальные, но достаточно конструктивные подходы к решению проблемы сворачивания белковых молекул.

Любое решение этой загадки должно включать оценку сил, обусловленных взаимодействием белковой молекулы с водой. В принципе параметры этих взаимодействий (т. е. гидрофобного эффекта) могут быть введены в функцию потенциальной энергии, однако как оптимально ввести эти параметры еще не ясно.

Один из методов оценки влияния воды предложен в 1971 г. в работе Б. Ли из Йельского университета. Ли разработал алгоритм для расчета размера доступной для растворителя поверхности белка с известной структурой, т. е. той части сложной поверхности, которая непосредственно контактирует с водой. На основе предварительных данных Ли и я предложили алгоритм, который может оказаться полезным при изучении сворачивания белковых молекул.

Доступную для воды область вытянутой полипептидной цепи (или какой-либо молекулы) можно разде-

лить на участки двух типов в соответствии с природой атомов, образующих эти участки. Где находятся неполярные, гидрофобные атомы (главным образом атомы углерода и серы), а где — полярные, гидрофильные атомы (главным образом атомы азота и кислорода)?

Поверхностное натяжение воды при контакте с такими атомами известно. Это натяжение, как считает С. Чотиа из Совета медицинских исследований непосредственно характеризует силу, оказываемую растворителем на белковую молекулу. Поверхностное натяжение велико, когда вода контактирует с неполярными молекулами, точно так же, как масло смешивается с водой, т. е. сила натяжения стремится уменьшить область контакта между маслом и водой, а в рассматриваемом случае — свернуть полипептидную цепь в глобулу. Поверхностное натяжение невелико, если в контакте находятся вода и полярные атомы и следовательно отсутствуют гидрофобные взаимодействия.

Суммирование доступных неполярных участков развернутой цепи позволяет оценить потенциальный гидрофобный эффект. В общем, как и можно было ожидать на основании структурного анализа, результирующая сила, действующая на большинство полипептидных цепей, большая и положительная; она ослабляет контакт с растворителем, и поэтому способствует сворачиванию белковой цепи.

Разные исследователи изучали также вопрос о роли упаковки атомов при сворачивании глобулы. В одной из работ приведены последовательности аминокислот ряда белковых молекул, которые принимают определенные трехмерные конформации. Учитывая стерические параметры аминокислот, такие, как форма и объем, Дж. Пондер из Йельского университета составил ряд других последовательностей аминокислот, которые теоретически должны принимать такие же трехмерные конформации.

В какой мере эти последовательности действительно относятся к предполагаемым классам белковых структур, еще предстоит установить экспериментально, однако для многих из них такое предположение, вероятно, справедливо. Эти данные, а также анализ влияния воды приводят к заключению о том, что сворачивание белковых молекул определяется в первую очередь пространственными факторами и гидрофобными взаимодействиями.

Если это именно так, то какова же роль дальних и ближних электростатических взаимодействий при сворачивании полипептидной цепи белков?

Несомненно, вклад этих взаимодействий варьирует от белка к белку. Для многих белков значительные изменения заряда молекулы могут происходить без существенного влияния на общую конформацию нативной глобулы. Возможно, электростатические взаимодействия важны в первую очередь для стабилизации конечной конформации, а не для ее формирования.

РЕШЕНИЕ вопроса о том, справедливо ли это предположение, требует оценки вклада электростатических взаимодействий. Однако математический анализ осложняется тем обстоятельством, что в сформированном белке атомы часто разделены молекулами воды, которые могут влиять на дальние и ближние взаимодействия так, что их трудно учесть в отсутствие детальной структурной информации. Кроме того, при сворачивании белковой молекулы расстоя-

ния между атомами непрерывно изменяются, что влечет за собой дополнительные сложности.

Каково в действительности влияние гидрофобных, пространственных и электростатических взаимодействий, остается в значительной мере неясным. Однако исследования проблемы сворачивания полипептидной цепи белков в настоящее время развиваются значительно быстрее, чем раньше. Тех из нас, кто участвуют в этих исследованиях, пока нельзя назвать «музыкантами», но мы быстро постигаем нотную грамоту. Сам прогресс в этой области уже вдохновляет, поскольку понимание проблемы сворачивания полипептидной цепи белков позволит решать вопросы, имеющие не только большую научную значимость, но и перспективу практического применения достижений в области биотехнологии.

Наука и общество

“Генная лихорадка”

ПРОЕКТ “Геном человека”, официально реализуемый с октября 1990 г., столь же важен для науки, как и многие другие крупные исследования в области биологии. Картирование и последующее секвенирование (т. е. определение нуклеотидной последовательности ДНК) около 100 тыс. генов человеческого организма может обойтись федеральному правительству в 3 млрд. долл., т. е. примерно в 200 млн. долл. ежегодно в течение ближайших 15 лет. “Охота” за генами идет во многих лабораториях научно-исследовательских институтов, университетов и различных компаний США.

Коммерческие возможности имеются на каждом этапе этих исследований — от работ по составлению хромосомных карт с указанием расположения генов в них — до трудоемкого процесса, каким является конструирование копий этих генов для использования их в лекарственных препаратах и диагностических тестах. Вся информация и технология, разработанная за счет финансирования из федеральных источников [при совместном руководстве министерства энергетики и Национальных институтов здоровья (NIH)], как планируют руководители проекта, должна быть использована для активной коммерциализации.

Какой представляется оптимальная стратегия в этом направлении —

можно только гадать. “Не решены еще такие вопросы, как место предполагаемой продукции на рынке и отношение к мелким и крупным компаниям”, — отмечает М. Пирсон, руководитель Научно-исследовательского центра молекулярной биологии компании Du Pont. Причина этого, по его мнению, заключается в том, что никто не знает, какой будет технология в 1995 г.

Тем не менее компании уже намечают, что они будут производить и как. Некоторые из них, например, недавно образованные Genmar и Transkaryotic Therapies (TKT), ведут разработку методов быстрого выполнения первого пятилетнего этапа проекта — проведение картирования. В ходе картирования весь геном разбивается на фрагменты, которые затем подвергаются систематическому анализу. Различия в размерах одного и того же фрагмента у больного и здорового человека может означать, что данный фрагмент содержит ген, обуславливающий заболевание. Однако не все вредные мутации могут быть так легко обнаружены. Некоторые дефектные гены могут быть такой же длины, как и нормальные, но при этом иметь какое-то существенное отличие в нуклеотидной последовательности. Тем не менее картирование позволяет создать базу для поиска и обнаружения таких генов.

“Нам хотелось бы, чтобы нашу

компанию рассматривали как специализирующуюся в области поиска и обнаружения генов," — замечает У. Кэрролл, руководитель научных исследований компании Genpar в Нью-Хейвене (шт. Коннектикут). Эта небольшая компания, основанная в 1988 г., намерена предложить партнерам или подрядчикам технологию клонирования ДНК длиной до 5 млн. нуклеотидных пар. С помощью сегментов такой длины можно быстро решать исследовательские задачи: например, найти в 17-й хромосоме ген, обуславливающий рак молочной железы, который, как предполагается, находится в пределах сегмента длиной 80—90 млн. нуклеотидных пар. Genpar занимается также составлением так называемых сокращенных хромосомных карт с помощью ДНК-проб, выявляющих повторяющиеся нуклеотидные последовательности, рядом с которыми часто находятся активные гены.

Сотрудники компании ТКТ в Кембридже (шт. Массачусетс) считают, что наиболее сложным в картировании генов является "скачок" от известного хромосомного маркера к гену, связанному с заболеванием. По мнению руководителя научных исследований Transkaryotic Therapies Р. Селдена, это наиболее длительная часть лабораторной работы. Поэтому исследователи стремятся искать гены редких наследственных болезней, а не менее четко выраженных расстройств, как, например, болезни сердца. "Они не желают тратить годы на поиски неизвестно чего, чтобы в итоге сказать: "Черт возьми, ведь все это время мы искали не тот ген", — замечает Селден.

Поэтому в Transkaryotic Therapies разработан метод скоростного выделения генов-мишеней. Селден отказывается описать сам метод, но отмечает, что он позволяет проводить работу всего за несколько часов вместо обычных 4—6 недель. Фирма намерена использовать этот метод для идентификации распространенных, но генетически сложно обусловленных болезней, например, таких, как гипертензия, маниакально-депрессивный психоз и различные раковые заболевания.

Другие компании участвуют в том, что иногда называют стратегией "золотой лихорадки", продавая необходимое оборудование и материалы тем, кто намерен "добывать золото". В борьбе за свою долю на рынке технологий автоматического секвенирования ДНК начинающие компании, такие, как Genomix из Сан-Франциско и Bios из Нью-Хейвена, соперничают с "тяжеловесами", подоб-

ными Du Pont, Pharmacia и Applied Biosystems. В существующем поколении приборов нуклеотидная последовательность генов определяется путем анализа фрагментов ДНК методом гель-электрофореза. Совершенствование таких приборов возможно лишь при использовании более качественных ферментов и гелей.

Новые роботизированные устройства, в которых производится расщепление ДНК на фрагменты, должны автоматизировать трудоемкий процесс, выполняемый вручную, который является "передним краем" секвенирования генов. Фирма Applied Biosystems из Фостер-сити (шт. Калифорния) в начале этого года планирует начать выпуск автоматизированного комплекса, предназначенного для работы с меньшими по объему образцами по сравнению с используемыми в комплексе фирмы Beckman Instruments, который уже имеется на рынке. Для поступления химических реагентов из отдельных емкостей в "реактор" используются система шприцев и манипулятор. Действительным техническим достижением является предотвращение испарения весьма незначительного объема жидкости (порядка микролитра) в ходе его циркулирования в условиях между комнатной температурой и температурой чуть ниже точки кипения. "В результате уменьшения необходимого количества химических реагентов снижаются и расходы," — объясняет М. Ханкейпиллер, вице-президент по науке и технике фирмы Applied Biosystems.

Вероятно, наибольшие коммерческие возможности (о которых биологи знают меньше всего) заключаются в создании технологии обработки огромного количества информации, полученной в ходе реализации проекта. Управление информацией и обеспечение электронного доступа к ней для пользователей — так называемая информатика проекта "Геном человека" — является сферой деятельности объединенной оперативной группы в составе представителей министерства энергетики и Национальных институтов здоровья, возглавляемой биофизиком из Йельского университета Д. Зеллем, который отмечает: "Нам нужна гибкая структура, которую даже специалисты в области молекулярной биологии, плохо знакомые с компьютерами, могли бы использовать в качестве справочника и указателя".

"Независимо от того, какую технологию субсидирует фирма, капиталовложения в этой области весьма рискованны", — считает А. Уолтон, совладелец компании Oxford Partners из

ПРОЕКТ «ГЕНОМ ЧЕЛОВЕКА»

ФИЗИЧЕСКОЕ КАРТИРОВАНИЕ Крупные работы

Хромосомы 4, 7, 11, X

Хромосомы 16, 19, 21

Маломасштабные исследования

Хромосомы

1, 4, 9, 14, 17, 18, 21, Y

Хромосомы

4, 5, 7, 11, 17, 22, X

СЕКВЕНИРОВАНИЕ

Секвенирование ДНК.

Пробные проекты на уровне крупных фрагментов ДНК (порядка 10⁶ нуклеотидных пар). Секвенирование геномов лабораторных организмов. Новые методы секвенирования.

МОДЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспрессия генов в лабораторных организмах (бактериях, мышах)

ИНФОРМАТИКА

Обработка данных, анализ, доступность

ИСТОЧНИК: Национальный центр исследований по проекту «Геном человека»

Стамфорда (шт. Коннектикут). Риск объясняется не просто конкуренцией и быстрым изменением обстановки, а, по его мнению, тем, удастся ли вам найти "денежный ген". Трудно проследить и за тем, не заимствовал ли кто-нибудь вашу технологию для получения собственной продукции.

Чтобы стимулировать научные исследования, некоторые фирмы выступают за безвозмездное предоставление университетам лицензий на технологии. В случае промышленного внедрения результатов работы учебного заведения другой компанией процентные отчисления должны поступать фирме-создателю технологии. Специалист в области патентного права и совладелец фирмы Pennie & Edmonds в Нью-Йорке С. Мисрок предостерегает против такой практики, напоминая о "прецеденте попустительства", согласно которому человек, однажды получивший разрешение сделать что-либо бесплатно, начинает думать, что он имеет право на такие льготы постоянно. Мисрок считает, что гены патентоспособны. "Это новые и полезные составные части вещества, обнаруженные в результате поиска из множества случайных ДНК", — отмечает он. Но было оспорено уже так много патентов в области биотехнологии, что компании начинают принимать меры по обеспечению секретности, по крайней мере в тех случаях, когда не приходится представлять всю информацию Управлению по контролю качества пищевых продуктов, медикаментов и косметических средств. Они теперь и искатели, и хранители.

Строительство флорентинского собора

Восьмигранный купол собора Санта-Мария дель Фьоре, увенчанный фонарем, шаром и крестом — уникальное архитектурное явление. Сооружение этого собора явилось значительным достижением в развитии инженерного искусства и строительной техники раннего Возрождения

ГУСТИНА СКАЛЬЯ

В 1294 г. ЦЕРКОВНЫЕ и городские власти Флоренции решили расширить небольшое здание церкви Санта-Репарата и освятить ее в честь св. Марии. Спустя 100 лет с небольшим флорентинцы могли видеть возвышающиеся над центром своего города стены собора Санта-Мария дель Фьоре, еще не имевшего купола. Перекрытие открытого пространства здания сводом в то время представляло собой весьма сложную техническую задачу, и в 1418 г. управляющие «Опера дель Дуомо» — цеха строителей, соорудивших собор, оказались в весьма затруднительном положении.

Архитекторы, которые проектировали собор на протяжении многих лет (среди них Арнольфо ди Камбио, Франческо Таленти и Джованни ди Лапо Гини), построили восемь стен хора, где должен был находиться высокий алтарь. На эти стены должен был опираться величественный купол. Впервые в строительной практике предстояло соорудить столь огромный (диаметром 54,8 м) 8-угольный в плане купол. Полная модель собора, включавшая купол, которая была предложена Арнольфо и которой пользовались строители, была утрачена.

Традиционные методы и механизмы, применявшиеся в то время строителями, не были пригодны для осуществления этой задачи. Один из таких методов состоял в том, чтобы заполнить пространство, ограниченное восьмигранным, деревянными лесами, которые могли бы поддерживать каменный купол, пока не затвердеет раствор. Но лес был дорогим, к тому же среди строителей отсутствовало единство в выборе того или иного метода. Поэтому «Опера дель Дуомо» и Гильдия шерстяников — влиятельная гильдия, отвечавшая за осуществление проекта строительства собора с

1331 г. — объявили конкурс среди архитекторов, как это было принято во флорентинской республике.

В 1420 г. выбор пал на двух известных архитекторов. Один из них, Филиппо ди Сер Брунеллески (1377—1446), флорентинский скульптор и золотых дел мастер, описал, но еще не представил на рассмотрение модель и новый, если не революционный метод строительства купола. Его главный соперник, Лоренцо Гиберти (1378—1455), также скульптор и золотых дел мастер, был широко известен, поскольку именно он в 1402 г. получил заказ на изготовление бронзовых дверей баптистерия перед зданием собора. Брунеллески тогда не удалось получить тот заказ.

Брунеллески предложил соорудить купол в виде двойного свода, имеющего внешнюю и внутреннюю оболочку (до сих пор эта конструкция не имеет аналога). Предложенный им способ не требовал возведения дорогостоящих деревянных лесов и кружал для поддержания свода в процессе его строительства. Кроме того, каждый уровень свода оказывался достаточно прочным для возведения следующего уровня. Для реализации этого нового и безопасного метода Брунеллески изобрел такие механизмы, как подъемник, краны и горизонтальную лебедку.

Брунеллески хотел быть единственным архитектором проекта, поскольку лишь один он знал, как можно осуществить его. Он придумал, как отстранить Гиберти от участия в сооружении купола. Джорджо Вазари (1511—1574) — биограф известных художников и архитекторов эпохи Возрождения писал (ссылаясь на биографию Брунеллески, написанную Антонио Манетти), что Брунеллески притворился больным, чтобы Гиберти одному пришлось руководить работами. Последний не знал, как продол-



жать строительство, и поэтому оно в конце концов остановилось. Работы возобновились лишь тогда, когда Брунеллески вновь появился на стройплощадке, утвердив таким образом свой авторитет.

По иронии судьбы наиболее детальные чертежи строительных механизмов, придуманных Брунеллески, были выполнены внуком Гиберти — Буанаккорсо Гиберти (1451—1516). В 1955 г. я обнаружила в Национальной библиотеке Флоренции его альбом для эскизов. Эти эскизы, а также опубликованные архивы «Опера дель Дуомо» (сохранившиеся с 1293 г.), которые содержали имена рабочих, руководителей работ, даты и сведения об оплате работ и поставок, позволя-

ют составить довольно ясное представление о том, как осуществлялось строительство купола и о роли Брунеллески. Эти источники помогли мне узнать, как Брунеллески использовал свои механизмы для сооружения двух оболочек купола и фонаря, а также о том, как позже на фонаре были установлены позолоченный шар весом около полутора тонн и крест.

Брунеллески, который считается основоположником архитектуры Возрождения, исследовал архитектуру древнеримских зданий в поисках элементов классических ордеров (дорического, ионического и коринфского), изменив тем самым облик более поздних зданий. Он также использовал современные ему математические ме-

тоды для достижения архитектурных пропорций, соразмерных человеку. Технические усовершенствования, автором которых был Брунеллески, включая новые механизмы и последующие проекты новых зданий, способствовали развитию архитектуры эпохи Возрождения.

Брунеллески удалось преодолеть технические барьеры, стоявшие перед его современниками. Вазари описывает, что его пленяли мысли о «времени, движении, о том, как действуют

ЗДАНИЕ СОБОРА САНТА-МАРИА ДЕЛЬ ФЬОРЕ, возвышающееся над Флоренцией. Строительство собора велось поэтапно с 1293 по 1470 г.





РИМСКИЙ ПАНТЕОН — одно из зданий, конструкцию которых изучал Филиппо ди Сер Брунеллески, архитектор, спроектировавший купол собора Санта-Мария дель Фьоре. Пантеон имеет полусферический купол, в вершине которого находится окно — единственный источник естественного освещения интерьера.

грузы, как должны вращаться колеса, чтобы он мог построить очень хорошие и красивые часы». Брунеллески были также созданы живописные произведения, иллюстрирующие понятия перспективы. В своей знаменитой росписи баптистерия, он ввел понятие точки схода. Этим он революционизировал ренессансную живопись изображением трехмерных объектов на плоской поверхности. На выбор Брунеллески пропорций или геометрических методов оказали влияния идеи флорентинского математика и астронома Паоло дель Поццо Тосканелли (1397—1482).

Помимо того что Брунеллески изучал механику и математику, некоторое время он провел в Риме, обмеряя и исследуя развалины зданий. Это было его непосредственное ознакомление с древнеримскими способами возведения больших сводов. Согласно Вазари, до 1428 г. Брунеллески исследовал фундаменты всех зданий в Риме, построенных в античную эпоху. При этом он отмечал, какой связующий материал использовали строители, пазы же и отметки на камнях помогли ему установить, как производились их разрезка и подъем. Некоторые особенности купола собора Санта-Мария дель Фьоре являются результатом его открытий. Но что самое главное, эти исследования помогли Брунеллески найти способ сооружения купола этого собора.

В период проведения конкурса на лучший проект купола в 1418 г. идеи

Брунеллески оказались весьма спорными, поскольку предложенный им способ возведения купола был беспрецедентным. Все сохранившиеся купола были небольшими и полусферическими, например такими, как у соборов Пизы и Сиены или Пантеона в Риме. Купол Пантеона состоит из одной оболочки и имеет отверстие в вершине, через которое освещается интерьер (единственный источник естественного света в храме). Возможно, что этот купол и остатки сводов древнеримских зданий подсказали Брунеллески конструктивное решение купола флорентинского собора. В конце концов флорентинцы разрешили Брунеллески приступить к работе, хотя члены «Опера дель Дуомо», как показывают документы процедурных заседаний, все еще настороженно относились к его проекту.

СООРУЖЕНИЕ свода без кружал было, возможно, самым главным известным достижением Брунеллески. Готические арки (стрельчатые, в отличие от полуциркульных римских арок) восьмиугольного хора собора Санта-Мария дель Фьоре имели меньшую высоту, чем арки купола. Кроме того, арки центрального хора имели деревянные опоры. Что же касается купола, то, согласно замыслу Брунеллески, при его строительстве кирпичи в каждом из рядов кладки укладывали под углом к кирпичам нижележащего ряда, что придавало прочность всей конструкции и компенсировало вес воз-

двигаемого свода. Вес каждого нового слоя кирпичей передавался на пилоны и стены восьмигранника.

Брунеллески изобрел также систему каменных колец для связывания оболочек свода. Эти камни соединялись на ребрах обеих оболочек и были армированы поперечными металлическими стержнями. Сцепленные камни связывают каждый ряд оболочек свода в горизонтальном и вертикальном направлениях, тем самым укрепляя всю конструкцию. Без них ребра сводов могли бы частично распрямиться, что привело бы к нарушению целостности купола.

Модель Брунеллески имела и другие характерные особенности. Так, водосточные трубы располагались снаружи здания, а отверстия во внешнем своде рассеивали ветровые нагрузки и повышали устойчивость к землетрясениям. Брунеллески использовал чугунные консоли в качестве опоры для лесов, на которых могли работать художники, писавшие фрески и выкладывавшие мозаику. (Вазари писал, что Брунеллески оборудовал на верхних ярусах лесов кухню с тем, чтобы рабочим не приходилось тратить время, чтобы спускаться вниз для еды).

Внешняя оболочка свода защищала более прочную внутреннюю оболочку от воздействия дождей и ветров. Пространство между оболочками было достаточным для того, чтобы устроить там проход и разместить лестницу, необходимую как для сооружения самих оболочек, так и для их ремонта.

В вершине купола, там, где сходятся восемь ребер внешней и внутренней оболочек, проект Брунеллески предусматривал круглое каменное ограждение, называемое серальо. Последнее располагается вокруг круглого отверстия («окулуса») в вершине купола. Окулус, диаметр которого составляет 6 м, а высота — от 3,6 до 4,5 м, служит замковым камнем для восьми арок купола. Каждая из 8 граней отверстия имеет три окна, пропускающие свет и воздух в серальо.

Эти окна использовались и с другой целью, что еще раз свидетельствует об изобретательности Брунеллески. Через них можно было просунуть длинные деревянные бруссы, которые могли служить временным настилом. На этом настиле располагались краины во время строительства мраморного фонаря и установки шара и креста. Все материалы, необходимые для фонаря, подавались вверх через отверстие в платформе.

Хотя фонарь был критическим элементом купола, спроектированного Брунеллески в 1418 г., конкурс на его конструкцию был объявлен лишь по-

сле завершения строительства купола. В 1436 г. победил макет Брунеллески, который сохранился и по сей день. Восемь контрфорсов фонаря служат для того, чтобы передавать вес на ребра свода, а через них — на восемь больших пилонов восьмигранника.

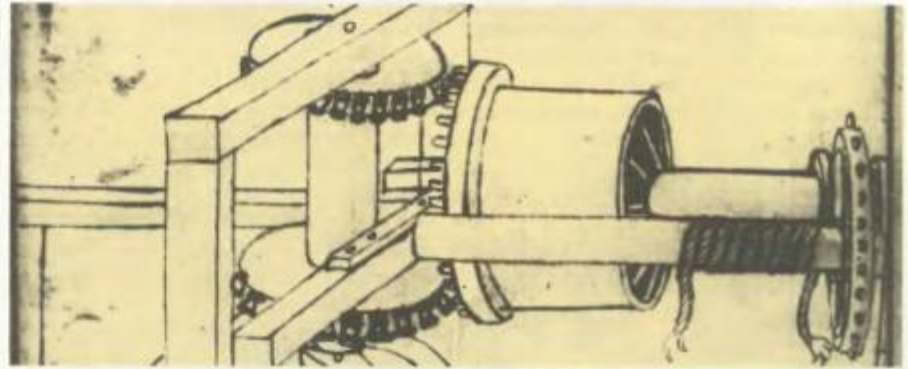
Безразличие Брунеллески к политике отразилось в его проекте фонаря: одна из его восьми колонн полая и в ней находится крутая лестница, обеспечивающая доступ к шатру, на котором укреплены шар и крест. Когда Брунеллески представил свой макет на рассмотрение властям, он тщательно замаскировал лестничный проход, и показал его лишь тогда, когда жюри заинтересовалось, как рабочие смогут добираться до вершины, чтобы завершить шатер. Соборы в Италии часто увенчаны шаром и крестом — символами владычества кардинала и св. Петра в Риме.

Для осуществления своих замыслов Брунеллески изобрел механизмы, предназначенные для подъема тяжелых грузов на большую высоту непосредственно к месту их установки. Эти механизмы, включая подъемники, краны, горизонтальную лебедку и крюки особой конструкции, свидетельствуют о его обширных познаниях в области механики и новаторском подходе. Следует также отметить, что эти механизмы были безопасными и позволяли относительно быстро завершить строительство.

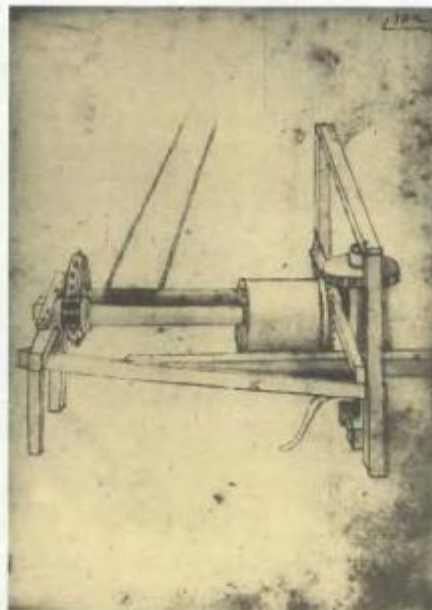
Поскольку в то время в творческой среде Флоренции царил дух соперничества, Брунеллески старался сохранить в тайне свои разработки, включая макет купола и проекты придуманных им механизмов. Он боялся, что у него могут украсть его идеи, и поэтому никогда не доверял их бумаге (патенты, которые тогда только еще появились в Венеции, пока не были известны во Флоренции). Ему приходилось каждую деталь подъемника заказывать разным литейщикам, кузнецам и другим мастерам, причем тем, которые жили за пределами Флоренции. Каждому из мастеров он давал лишь схематический профильный чертеж детали, весь же механизм собирал сам.

Механизмы Брунеллески были составной частью его общего метода возведения купола. Устройство подъемника, несомненно, свидетельствует об изобретательности его автора и о том, насколько глубокими были его познания в механике. Некоторые детали подъемника не имели аналогов в прошлом, а кран и горизонтальная лебедка были принципиально новой конструкции.

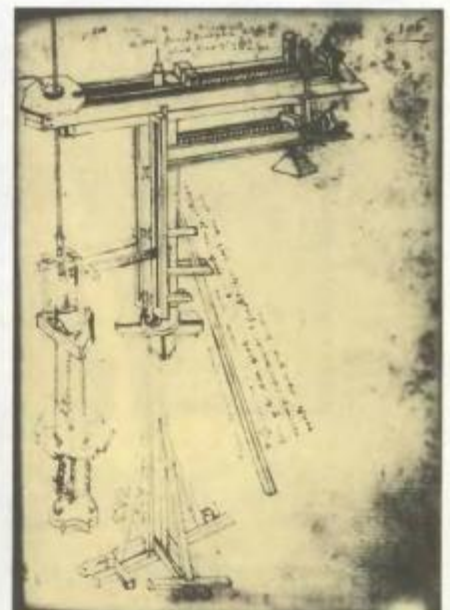
ЧЕРТЕЖИ МЕХАНИЗМОВ БРУНЕЛЛЕСКИ, ВЫПОЛНЕННЫЕ БУАНОККОРСО ГИБЕРТИ



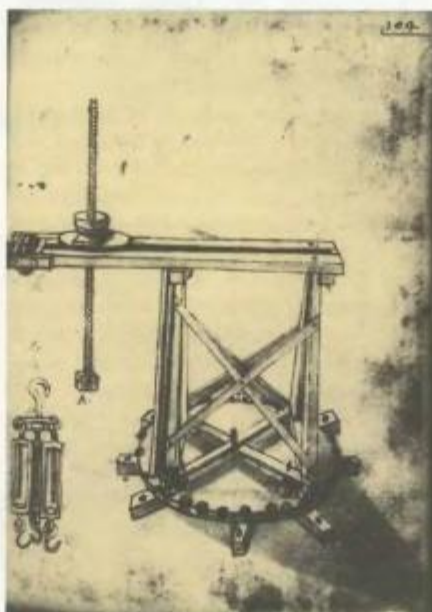
ДВУХХОДОВОЙ ПОДЪЕМНИК (ДЕТАЛЬ)



ДВУХХОДОВОЙ ПОДЪЕМНИК



КРАН

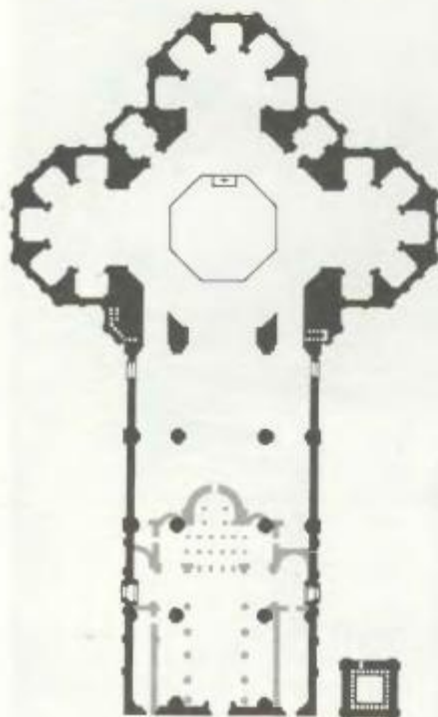


КРАН ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ФОНАРЯ



КРАН ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ШАТРА

Сваи подъемника (см. верхний и левый средний рисунок на с. 39) были вкопаны в грунт в центре хора, непосредственно под куполом. Подъемник оставался на этом месте в течение 50 лет, пока не было завершено строительство купола и фонаря, увенчанно-



ПЛАН СОБОРА Санта-Мария дель Фьоре, на котором отмечены 8-угольный в плане хор, окружающий алтарь, и фундамент старой церкви Санта-Репарата, находящийся ниже уровня пола.



МАКЕТ ФОНАРЯ, спроектированный Брунеллески. Вес фонаря передается восемью ребрами купола, что повышает устойчивость всей конструкции.

го шаром и крестом. С помощью этого механизма наверх подавался строительный материал — камень, мраморные блоки, раствор и длинные каштановые бруссы.

Подъемник был относительно прост в обращении. Один конец каната был привязан к барабану. Груз (камень, бревна и т. д.) крепили к другому концу каната с помощью крюков — приспособлений (использовавшихся древними римлянами, которые были вновь открыты Брунеллески) в виде стремян, входящих в пазы камня. Лошадь или вола впрягали во вращающуюся балку, которая приводила в действие механизм. Колеса подъемника вращали барабан, груз поднимался наверх, под самый купол, где его принимали рабочие. В нужный момент они подавали криком сигнал, и подъем прекращался.

Заслугой Брунеллески является и то, что изобретенный им деревянный подъемник был двухходовой: он имел два колеса, одно из которых служило для поднятия, а другое — для опускания груза. Колеса эти задействовались поочередно с помощью деревянного винта в вертикальной оси подъемника. При такой двухходовой системе сцепления тягловое животное могло передвигаться в одном направлении, т. е. отпадала необходимость каждый раз отвязывать его и затем вновь привязывать, чтобы поменять направление движения. (Канат весил около 500 кг и был изготовлен кораблестроителями в Пизе.)

Брунеллески изобрел также новые механические детали для подъемника, называемые палеи (вращающиеся деревянные валики, закрепленные на U-образных чугунных опорах), которые действовали как зубья передачи. Главное колесо имело 91 палео. Они позволяли снизить потери энергии из-за трения в колесной передаче.

Для подъема камней Брунеллески приспособил скобы, или охваты, которые входили в углубления каменных блоков. Зажим этих скоб производился с помощью стяжных винтовых муфт, обеспечивающих тем самым безопасность подъема. Железные охваты состояли из трех свободных систем железных клиньев, которые входили в прорезь в камне, образуя замок типа «шип и гнездо».

Груз, поднятый наверх с помощью подъемника, принимал кран, сконструированный Брунеллески. Этот кран (см. рисунок в середине справа на с. 39) мог поворачиваться, и его каретка переносила строительный материал к тому месту, где велась кладка. Лебедка перемещала груз в горизонтальном направлении, после чего с помощью червячной передачи (червяк

находился на противоположном конце лебедки) груз опускался там, где нужно. Кран и горизонтальная лебедка работали согласованно с подъемником.

Для сооружения фонаря использовался другой кран (см. левый нижний рисунок на с. 39). Он располагался на круглой платформе, которая покоилась на роликах и могла поворачиваться, как вращающийся поднос для кушаний. Система перемещения груза была такой же, как в горизонтальной лебедке. Кран располагался над отверстием в вершине купола, при этом опорой для лесов служили бруссы, просунутые в окна серальо.

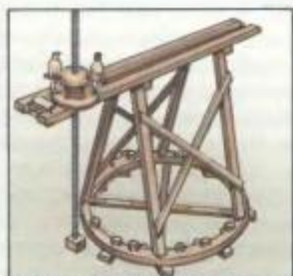
Некоторое представление о том, как работал кран, использовавшийся для сооружения фонаря, дают записи Леонардо да Винчи, который сделал копии всех чертежей, выполненных Буанокорсо для Брунеллески. Леонардо да Винчи отмечает, что кран имел «четыре деревянных червяка, которые приподнимают леса для полостей, и после этого можно было соорудить под ним прочную платформу».

Еще один кран использовался для сооружения шатра фонаря. Этот кран, определенно, был также сконструирован Брунеллески, поскольку, будучи автором проекта фонаря, он подготовил все этапы работ. Кроме того, поскольку этот проект включает в себя шар и крест, то он сконструировал и устройства, с помощью которых они были воздвигнуты.

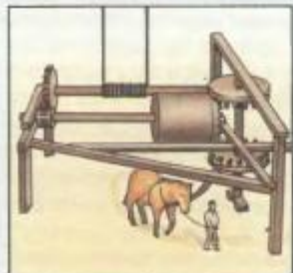
Система перемещения груза на кране, использовавшаяся при строительстве шатра, состоит из горизонтальной крановой балки, к которой подвешен канатный крановый блок. На чертеже, выполненном Буанокорсо (см. правый нижний рисунок на с. 39), изображены лишь основные детали этого крана. На нем отсутствует изображение массивных подмостей, необходимых для установки крана, и по нему ничего нельзя сказать, как могла поворачиваться круглая платформа. Однако на этом чертеже виден кран целиком (установлен он на мраморном карнизе фонаря) и отверстие в вершине шатра, в котором были закреплены шар и крест (последние удерживаются с помощью деревянных балок, находящихся внутри шатра).

КОГДА Брунеллески умер, строительство фонаря еще не было завершено, а шар и крест еще только предстояло установить. Поскольку имеется очень мало письменных документов и рисунков, из которых можно было бы извлечь более полную информацию о методах Брунеллески,

МЕХАНИЗМЫ БРУНЕЛЛЕСКИ В ДЕЙСТВИИ



КРАН ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ФОНАРЯ



двухходовой подъемник

1470

1457

1436

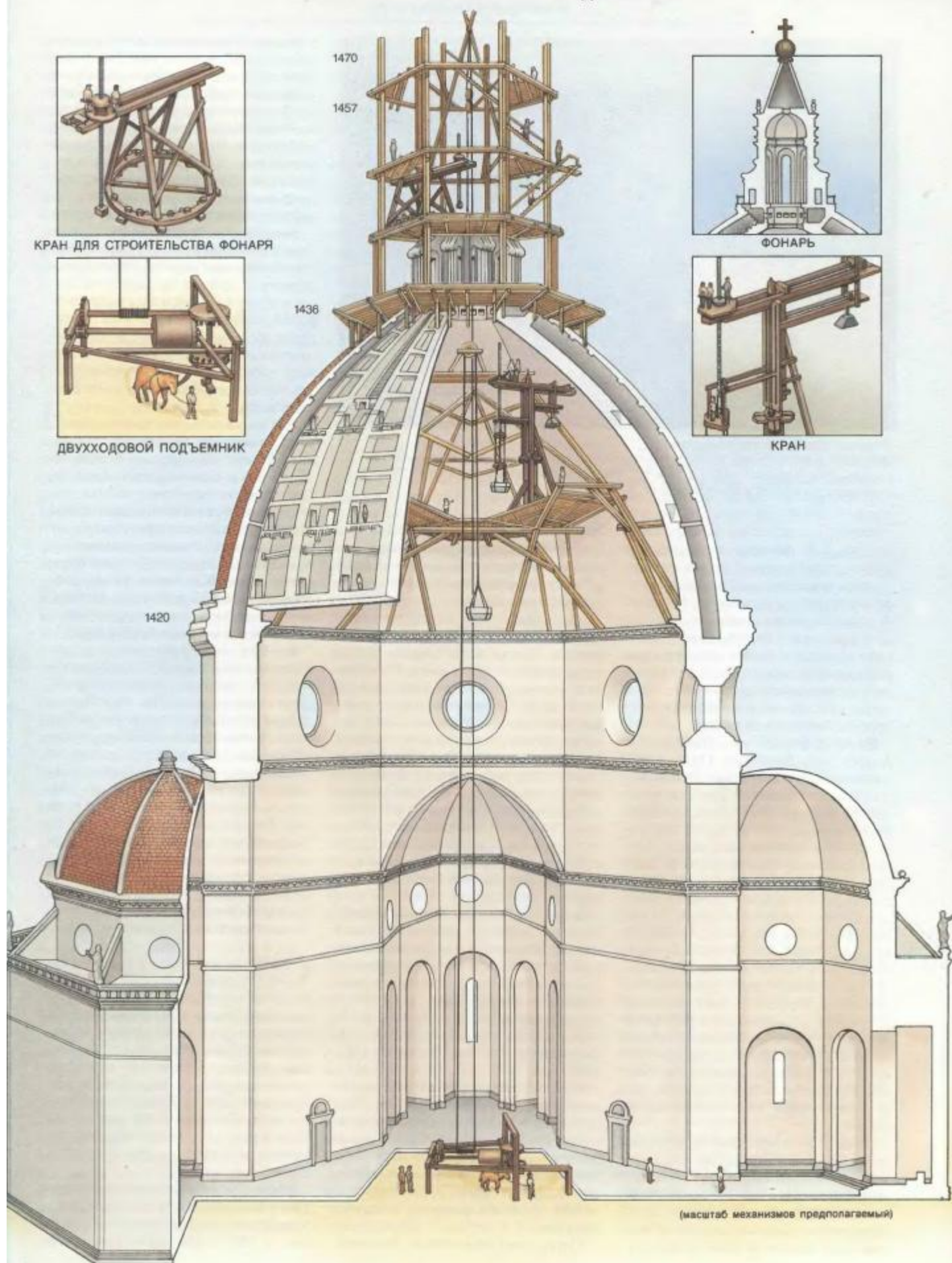
1420



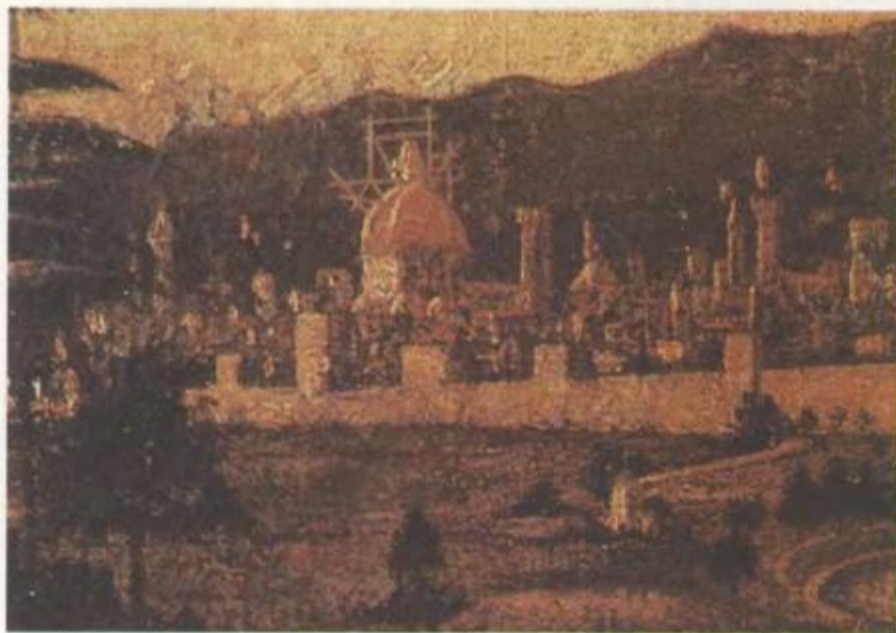
ФОНАРЬ



КРАН



(масштаб механизмов предполагаемый)



КАРТИНА ДЖОВАННИ УТИЛИ, на которой изображен флорентинский собор (написана примерно в 1479 г.). Над куполом собора еще возвышаются леса, сооруженные по проекту Брунеллески.

отрывочные сведения, оставленные некоторыми членами «Опера дель Дуомо» о выполнении трудной задачи — строительстве фанаря, установке шара и креста (а также повторной их установке после стихийного бедствия) обретают особое значение для восстановления оригинального метода, разработанного Брунеллески. Эти сведения дополняют рисунки Буонакорсо и Леонардо да Винчи.

В 1468 г. флорентинский скульптор Андреа дель Верроккио (1435—1488) получил заказ на изготовление шара и его медного каркаса. (Крест был изготовлен другими мастерами, которые позже укрепили его на шаре.) Согласно записям «Опера дель Дуомо», Верроккио должен был изготовить шар, состоящий из 8 секций и бронзового пояса. Центральный штырь пояса должен был входить в отверстие полого конуса — как предусматривала модель фанаря, выполненная Брунеллески. Позже в том же году, после того как 8 секций шара были спаяны вместе на террасе фанаря шириной 2,7 м, шар размером 2,1 м был установлен на место с помощью подъемника, который, как упоминается в документах, имел пирамидальную форму. Внешне он напоминал кран, использовавшийся для строительства шатра.

Хотя более подробные сведения отсутствуют, система, которую Буонакорсо изобразил на чертеже указанного крана, должно быть, использовалась для перемещения деталей шара в поперечном направлении, когда этот шар был поднят на нужную высоту.

(Интересно, что установку шара, вероятно, наблюдал Леонардо да Винчи, поскольку он в то время был учеником Верроккио.)

Деревянные леса, которые соорудил Брунеллески для строительства фанаря, еще не были убраны, когда устанавливали шар и крест. (В одном из документов «Опера дель Дуомо» отмечается, что леса были дорогими, их сложно сооружать и они будут разобраны сразу после установки шара.) На одной из картин Джованни Баттисты Утили, написанной примерно в 1470 г., виден купол флорентинского собора, на котором еще сохранились леса. Хотя леса изображены приблизительно, картина Утили дает представление о том, что находилось в то время на террасе купола и вокруг фанаря.

В 1602 г. Герардо Мечини спроектировал подобные леса и построил новый мраморный шатер, после того как старый шатер вместе с шаром и крестом был повергнут на землю молнией. Однако некоторые секции шара уцелели после падения и были использованы заново. Молния ударила в собор довольно часто (в 1492, 1494, 1495, 1498, 1511, 1536, 1542, 1561, 1570, 1577, 1578 и 1586 гг.), причиняя некоторые разрушения. Однако удар молнии в 1600 г. был столь разрушительным для собора Санта-Мария дель Фьоре, что Римский папа повелел «Опера дель Дуомо» поместить внутри креста святую реликвию с тем, чтобы защитить собор от молний в будущем.

Сохранился письменный документ,

в котором Мечини описывает высоту лесов и в каком месте следует переделять шатер с тем, чтобы можно было установить шар. «Верхний настил лесов находится почти на уровне шара, поэтому для установки шара на место необходимо будет построить другой настил примерно на 7 метров выше», пишет он. По всей вероятности, Брунеллески построил свои леса для сооружения фанаря на той же высоте.

Рисунок Мечини еще раз свидетельствует о функции фанаря и отверстия в вершине купола, предусмотренного в проекте Брунеллески. Поскольку шатер фанаря был на три четверти разрушен молнией и из 32 ступеней лестницы в колонне фанаря, ведущей к шатру, уцелело лишь 20, Мечини соорудил первый уровень лесов так, чтобы он опирался на контрфорсы фанаря.

Для строительства пола в отверстии в вершине купола использовались бруссы, просунутые в окна саралья. На верхних настилах была собрана простая треногая лебедка. Через отверстие в настиле поднимали на террасу небольшие мраморные блоки для шатра и длинные каштановые бруссы, предназначенные для установки шара. Как видно из картины Утили, леса, сооруженные Мечини, вряд ли сильно отличались от лесов, которые использовал Брунеллески.

В 1602 г. были изготовлены новые 8 секций шара. Каждую из них поднимали отдельно через узкие окна фанаря на террасу, где они были спаяны до формы шара. Последний потом был покрыт позолотой. Рабочие весьма осторожно пользовались огнем во время пайки, и он не причинил вреда лесам. Однако без жертв не обошлось. Согласно документам «Опера дель Дуомо», восемь рабочих умерли, отравившись парами ртути, которую использовали для золочения. (Ртуть широко применяется для достижения прочной связи между золотом и металлом-основой; при золочении она испаряется путем нагревания).

СПУСТЯ годы после смерти Брунеллески фанарь продолжал преподносить сюрпризы. В 1511 г. управляющие «Опера дель Дуомо» постановили сделать в нем отверстие диаметром 2,5 см, обрамленное бронзовым кольцом. Через это отверстие солнечные лучи должны были падать на гномон, или солнечные часы на полу хора. От этих лучей получалась тень, длина и положение которой указывали на летнее и зимнее солнцестояние.

«Астрономические свойства» фанаря и гномона были открыты астрономом-иезуитом П. Леонардо Хименесом в 1755 г. Он хотел наблюдать

зимнее и летнее солнцестояние и заново откалибровал гномон. До недавнего времени историки полагали, что именно он проделал отверстие в фонаре, однако в 1979 г. архивариус Энзо Сеттесолди, изучавший архивы «Опера дель Дуомо», опубликовал расписку об уплате от 1475 г. на изготовление бронзового кольца, которое должно было быть помещено на фонаре, для того чтобы можно было видеть, куда лучи солнца падают в определенные дни года. Изобретателем этого устройства для гномона был

флорентинский математик и астроном Тосканелли, который побудил Брунеллески изучать геометрию.

Математические способности Брунеллески и его познания в области механики помогли ему стать передовым архитектором своего времени. Хотя его последователи, которые достраивали купол, не воспользовались изобретенными им механизмами (они возвратились к обычным лебедкам и канатным блокам), механизмы Брунеллески предвосхитили механизмы эпохи промышленной революции.

Наука и общество

Споры о жире

Если вы последние десять лет не находились на необитаемом острове, то, безусловно, слышали, что сливочное масло содержит много так называемых насыщенных жиров, которые повышают содержание холестерина в крови. А вот маргарин делается из растительных масел, содержащих полиненасыщенные жиры, при потреблении которых уровень холестерина понижается. Казалось бы, если включать в рацион только растительные жиры, то можно уменьшить количество холестерина в организме.

Однако это рассуждение оказывается неверно. М. Флинн из Университета шт. Миссури провела эксперимент с 71 добровольцем, рацион которых «переключался» с растительных жиров на животные и обратно. Как обнаружилось, практически не имеет значения что употреблять в пищу — маргарин или сливочное масло. По мнению многих специалистов, это объясняется тем, что маргарин представляет собой смесь частично гидрогенизированных жиров. А как показали недавние исследования, такие жиры могут оказывать негативное влияние на уровень холестерина в крови, снижая содержание «полезных» липопротеинов высокой плотности и увеличивая содержание «вредных» липопротеинов низкой плотности.

Частично гидрогенизированные жиры производятся путем воздействия водорода на полиненасыщенные масла, в результате чего последние затвердевают, причем некоторые полиненасыщенные жиры превращаются в *транс*-мононенасыщенные. Мононенасыщенные жиры обычно считаются полезными, но на самом деле все не так просто. «*Транс*-мононенасыщенные жиры ведут себя в организме подобно насыщенным», — утверждает Ф. Каммероу из Иллинойского университета в Эбана—Шампэйн.

Почти все природные мононенасыщенные жиры имеют *цис*-конфигурацию и ближе по свойствам к полиненасыщенным жирам.

Флинн не первая обращает внимание на *транс*-мононенасыщенные жирные кислоты. Еще 10 лет назад в Канаде правительственная рабочая группа отметила ведущее к повышению уровня холестерина действие *транс*-жиров и рекомендовала производителям маргарина снизить содержание в нем этих соединений, что достигается изменением условий гидрогенизации.

В августе прошлого года датские исследователи Р. Менсинк и М. Катан опубликовали в журнале «New England Journal of Medicine» данные, свидетельствующие о том, что потребление пищи, богатой *транс*-мононенасыщенными жирами, приводит к увеличению содержания липопротеинов низкой плотности и уменьшению содержания липопротеинов высокой плотности. В редакционном комментарии к этой статье С. Гранди из Техасского юго-западного медицинского центра в Далласе писал, что способность жирных *транс*-кислот повышать уровень липопротеинов низкой плотности сама по себе уже является причиной для того, чтобы уменьшить их количество в рационе. Гранди призвал изменить инструкции по маркировке продуктов питания таким образом, чтобы жирные кислоты, повышающие уровень холестерина, включая *транс*-мононенасыщенные, были сгруппированы все вместе.

С этим не согласен директор Национальной образовательной программы по холестерину Дж. Климан. «Рано засучивать рукава, — утверждает он. — Менсинк обращается к научным кругам, а для широкой общественности необходимы допустимые упрощения». Климан отмечает, что в исследовании Менсинка и Катана ис-

пытываемые потребляли относительно большое количество *транс*-жиров. По его мнению, прежде чем вносить изменения в рекомендации по питанию, следует повторить исследования на более типичном для населения в целом уровне потребления жиров.

Более того, как отмечает Климан, результаты исследований, подобных работе Флинн, трудно интерпретировать, поскольку испытуемым разрешали есть, сколько им захочется. В статье Флинн, опубликованной в январе этого года в «Journal of the American College of Nutrition», обнаружены значительные различия между индивидами в составе липидов крови. «Единственным путем правильного изучения проблемы является метаболический контроль, — заключает Климан. — История с *транс*-жирами служит хорошим примером проблемы, не готовой для практических мер».

Э. Эмкен из Сельскохозяйственной исследовательской службы в Пеории (шт. Иллинойс), также высказывает сомнения, но по другой причине. По данным М. Эниг из Мэрилендского университета, взрослые американцы потребляют в среднем 19 г *транс*-жиров в сутки. Однако Эмкен считает, что эта цифра сильно завышена. Согласно его оценкам, исключение из рациона жирных *транс*-кислот у большинства людей вызовет лишь очень незначительные изменения концентрации холестерина в крови. «Это может оказаться существенным при гиперхолестеролемии, но для здоровых людей такие изменения ни на что не повлияют», — утверждает Эмкен.

В «American Journal of Clinical Nutrition» вскоре будут опубликованы результаты исследования, проведенного Эмкеном совместно с Л. Хаджинс и Дж. Хирш, в котором не обнаружилось никакой связи между содержанием *транс*-жиров в жировой ткани людей и динамикой уровня холестерина у них. По мнению Эмкена, это означает, что для большинства людей *транс*-жиры не представляют угрозы.

Тем не менее проблема *транс*-жиров нуждается в дополнительном изучении. «Как можно противиться включению холестерина, насыщенных и ненасыщенных жиров в список нежелательных компонентов пищи и при этом не считать важной информацию о *транс*-жирах, которые по свойствам близки к насыщенным жирам?! — восклицает Б. Хоулаб из Гуэлфского университета, — Во всяком случае, следует задаться вопросом, можно ли допускать маркировку продуктов с высоким содержанием *транс*-жиров как не содержащих холестерина».

Миры иных звезд

Теория и данные наблюдений позволяют предположить, что планетные системы, подобные нашей, должны быть широко распространены во Вселенной. Астрономы близки к обнаружению планет, которые могут обращаться по орбитам вблизи некоторых ближайших звезд

ДЕЙВИД Ч. БЛЭК

ОБРАЩАЮТСЯ ли вокруг иных звезд планеты, подобные нашей? С ответом на этот вопрос непосредственно связана проблема существования жизни вне Земли. Самым благоприятным местом для возникновения жизни нам кажется поверхность планеты, которая играет роль «космической чашки Петри», где жизнь может зародиться и эволюционировать к достаточно сложным формам. Поэтому поиск иных планетных систем должен быть одним из важнейших направлений при любой попытке обнаружить существование внеземной жизни. Кроме того, результаты этого поиска значительно приблизят нас к пониманию происхождения Земли и Солнечной системы.

Астрономы давно построили детальную картину происхождения Солнца и окружающих его планет. Но, к сожалению (и с этим пока ничего не поделаешь), некоторые важнейшие элементы этой картины всецело опираются на факты, обнаруженные лишь у одной планетной системы — нашей собственной. Получив статистически значимые данные о составе и свойствах других планетных систем, мы, несомненно, узнаем о многих неожиданных подробностях процесса формирования звезд и планет.

Перспективы для открытий в этой области сейчас стремительно расширяются. Многие исследователи уже, вероятно, зарегистрировали планеты, обращающиеся вокруг других звезд, хотя все эти результаты остаются пока сугубо предварительными. Новое поколение телескопов и детекторов, а также некоторые нововведения в технику регистрации, обещают существенно улучшить ситуацию.

Современные представления о происхождении Солнечной системы уходят своими корнями к концепциям, развитым в конце XVIII в. Иммануилом Кантом и Пьером Симоном Лапласом. Они выдвинули небулярную гипотезу происхождения Солнечной системы, согласно которой Солнце и

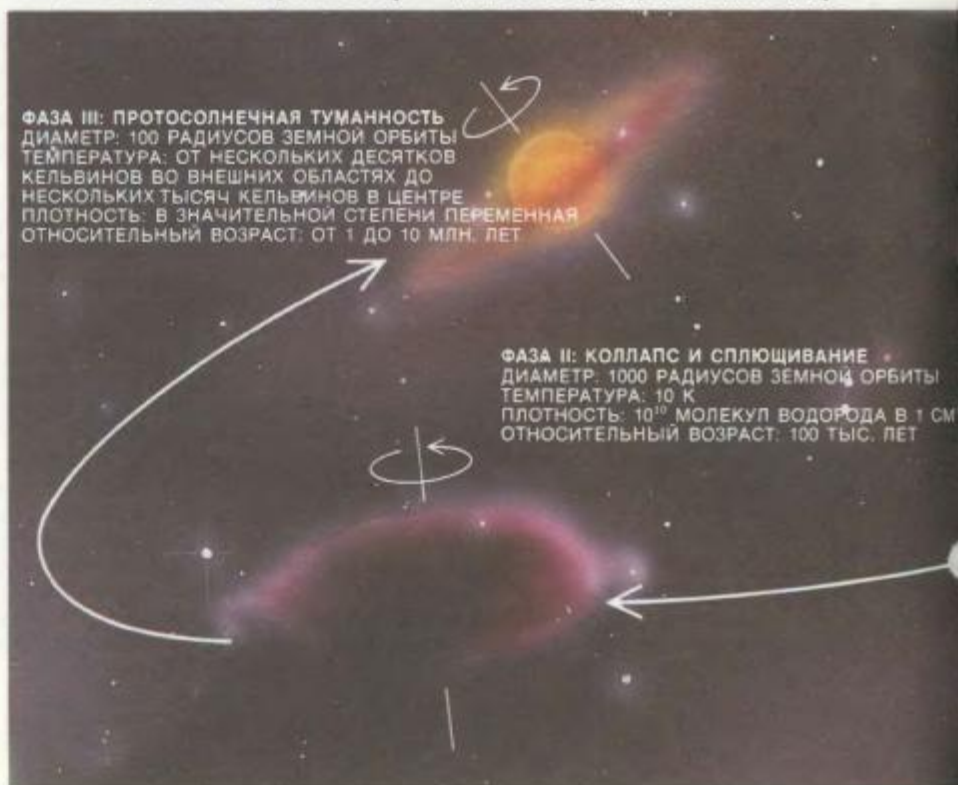
планеты сконденсировались из огромного клочковатого облака. За последние десятилетия небулярная гипотеза была существенно развита и усовершенствована, но основные ее положения сохранились. В настоящее время важнейший вопрос — где и как формируются планеты и что нужно предпринять для их поиска.

НЕКОТОРЫЕ отчетливые закономерности в структуре Солнечной системы указывают на ее небулярное происхождение. Все планеты обращаются почти в одной плоскости: орбиты всех планет, за исключением Меркурия и Плутона, наклонены не более чем на 3° к плоскости земной орбиты, называемой эклипстикой. Средняя орбитальная плоскость планет наклонена не более чем на 6° к экваториальной плоскости Солнца. Эти факты показывают, что все планеты сформировались из единой дискообразной структуры, получившей название протосолнечной туманности.

Если смотреть со стороны Север-

ного полюса Земли, то все планеты обращаются вокруг Солнца против часовой стрелки, т. е. в том же направлении, в котором вращается вокруг своей оси Солнце. К тому же планеты движутся по почти круговым орбитам (хотя для Меркурия и Плутона это вновь не совсем так). Столь упорядоченное движение свидетельствует о том, что родительский диск был динамически упорядоченным, регулярным, а не хаотическим и что основным типом движения внутри диска было обращение вокруг Солнца.

Еще одно свойство Солнечной системы, заслуживающее внимания, это изменение химического состава планет в соответствии с их расстоянием от Солнца. Газообразные внешние планеты (Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун) в основном состоят из относительно легких, летучих элементов. Особенно это характерно для Юпитера, который по своему составу (в основном это водород и гелий) очень похож на Солнце. Другие внешние планеты содержат меньше водорода, но богаты водоро-



РОЖДЕНИЕ ЗВЕЗДНЫХ СИСТЕМ

досодержащими соединениями, такими, как аммиак.

Внутренние планеты, или планеты земной группы (Меркурий, Венера, Земля и Марс), напротив, состоят в основном из более тяжелых элементов, таких, как кремний и железо, которые в космосе распространены значительно меньше, чем водород. Если к Земле добавить достаточное количество легких элементов, так, чтобы ее состав стал близок к солнечному, то при этом ее масса станет сравнима с массой Юпитера. Из этого следует, что внешние планеты более массивны потому, что в эпоху их формирования они оказались способными удержать больше легких, летучих элементов и соединений, входивших в состав протосолнечной туманности.

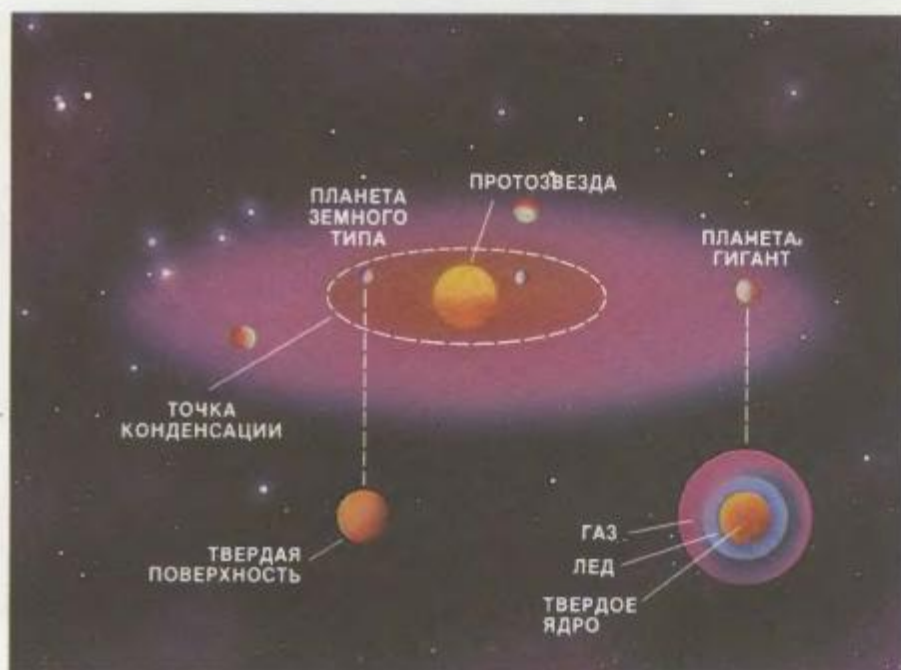
Общепринятое объяснение этого различия состоит в том, что внутренняя часть протосолнечной туманности была достаточно горячей для того, чтобы летучие элементы находились там в газообразном состоянии. На ранней критической стадии формирования планет рост их тел, скорее всего, происходил за счет аккумуляции твердого вещества. Вероятно, важную роль в формировании планет играла вода, поскольку она широко распространена и конденсируется при относительно высокой температуре по сравнению со средней температурой туманности. В тех областях туманности, где температура была 170 К или ниже (точка конденсации водяного льда), твердого вещества оказалось достаточно много для формирования планет-гигантов.

Таким образом, можно предположить, что крупнейшие планеты всегда формируются во внешних, холод-

ГАЗО-ПЫЛЕВОЕ ОБЛАКО
 ДИАМЕТР: НЕСКОЛЬКО СОТЕН СВЕТОВЫХ ЛЕТ
 МАССА: НЕСКОЛЬКО ТЫСЯЧ СОЛНЕЧНЫХ МАСС
 ПЛОТНОСТЬ И ТЕМПЕРАТУРА: В ЗНАЧИТЕЛЬНОЙ СТЕПЕНИ ПЕРЕМЕННЫЕ

ФРАГМЕНТ ОБЛАКА (ЯДРО МОЛЕКУЛЯРНОГО ОБЛАКА)
 ДИАМЕТР: 30 СВ. ЛЕТ
 ТЕМПЕРАТУРА: 10—50 К
 ПЛОТНОСТЬ: 10^4 МОЛЕКУЛ ВОДОРОДА В 1 см^3
 МАССА: НЕСКОЛЬКО СОЛНЕЧНЫХ МАСС

ФАЗА I: КОЛЛАПС
 ДИАМЕТР: 1,2 СВ. ГОДА (100 ТЫС. РАДИУСОВ ЗЕМНОЙ ОРБИТЫ)
 ТЕМПЕРАТУРА: 10 К
 ПЛОТНОСТЬ: 10^8 МОЛЕКУЛ ВОДОРОДА В 1 см^3
 ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ ВОЗРАСТ: 0 ЛЕТ



ПЛАНЕТЫ-ГИГАНТЫ, вероятно, формируются только в холодных, далеких областях протосолнечной туманности, где вода конденсируется в лед, обеспечивая достаточно вещества для роста планеты. В более нагретых областях, близких к формирующейся звезде, планеты аккумулируются из менее распространенных соединений кремния и железа; в результате образуются небольшие твердые тела, похожие на Землю.

ных областях околозвездного диска. Эта гипотеза указывает, где по отношению к центральному светилу астрономы должны искать крупные планеты у других звезд.

Околозвездные диски представляются естественным продуктом процесса звездообразования. Формирование звезд начинается с гравитационного сжатия (коллапса) плотных холодных уплотнений вещества внутри межзвездных облаков молекулярного газа и пыли. По мере того как уплотнение сжимается, хаотические движения в нем затухают, и вращение его как целого превращает уплотнение в сжатый газовый диск. Имеются данные, что такие диски очень вязки, диссипативны; это приводит к переносу углового момента на периферию диска и к потоку вещества в сторону его центра на только что родившуюся звезду.

Планеты слипаются за короткий промежуток времени — не более нескольких миллионов лет, проходящий от рождения диска до его исчезновения, причиной которого может быть либо «заглатывание», либо распыление диска новорожденной звездой. Различные факты указывают, что планеты формировались не просто в результате коллапса протосолнечной туманности. Например, оси вращения планет, как правило, не перпендикулярны эклиптике; это означает, что планеты формировались в результате

сложного, хаотического процесса, включавшего аккрецию более мелких частей. Отсюда следует фундаментальное различие в путях формирования планет и звезд, которое всегда нужно иметь в виду при изучении планетных систем.

Если современные представления о рождении звезд в основном верны, то околозвездные диски можно обнаружить в ассоциациях, объединяющих самые молодые звезды. Некоторые из этих дисков затем могут пройти те же эволюционные стадии, что и молодая Солнечная система. Разреженные, холодные и часто окруженные непрозрачным веществом диски вокруг молодых звезд очень трудно наблюдать в лучах видимого света, поэтому астрономы предпочитают проводить наблюдения в радио или инфракрасном диапазоне. Это более длинноволновое электромагнитное излучение способно проникать сквозь толстое облако пыли значительно легче, чем видимый свет.

Первым убедительным указанием на то, что дисковые структуры действительно окружают молодые звезды, было обнаружение у этих звезд энергичных газо-пылевых потоков в виде струй и ветров. Такие потоки, вероятно, состоят из вещества, выброшенного эволюционирующим диском, но это лишь косвенное свидетельство существования дисков вокруг формирующихся звезд.

Проведенные позднее исследования подтвердили эти данные. Когда частицы пыли поглощают свет звезды, они нагреваются и переизлучают этот свет в виде менее энергичного инфракрасного излучения. Длина волны инфракрасных лучей определяется размером частиц. Множество молодых звездных объектов (наиболее известны из них HL Тельца, R Единорога и L 1551/IRS 5) имеет необычайно сильное инфракрасное излучение, указывающее на наличие пылевых частиц. Инфракрасные наблюдения этих объектов, проведенные с помощью наземных телескопов и инфракрасного спутника HACA IRAS (Infrared Astronomy Satellite), показали, что частицы пыли имеют размер от одного до нескольких десятков долей микрометра. Как бы ни были малы эти частицы, они намного крупнее пылинок, входящих в состав межзвездных облаков; это указывает на то, что вблизи наблюдаемых звезд мог начаться процесс формирования планет. Некоторые исследователи считают, что околозвездные пылинки образовались при столкновениях кометобразных тел — вероятно, предков планет, обращающихся вокруг этих звезд.

Особенно мощный метод наблюдения, известный как спекл-интерферометрия, позволяет преодолеть «размытость» изображений из-за влияния земной атмосферы путем использования очень коротких экспозиций, по которым неискаженное изображение восстанавливается с помощью математической обработки. Но даже этим методом невозможно получить четкое изображение пылевых облаков вокруг молодых звезд, однако он позволил астрономам определить, что форма и размер этих облаков согласуются с предполагаемыми для дисков. Изображения, полученные со спутника IRAS, подтвердили, что много звезд, включая старые, такие, как Вега и β Живописца, окружено дискообразными пылевыми образованиями. Радиоастрономические наблюдения указывают на присутствие в этих дисках газа, в частности окиси (монооксида) углерода, интенсивно излучающего радиоволны в миллиметровом диапазоне.

Дополнительное доказательство конденсации дисков вокруг некоторых звезд получено при инфракрасных наблюдениях молодых звезд типа Т Тельца. Чем старше эти звезды, тем меньше они излучают в коротковолновом инфракрасном диапазоне, как если бы наиболее горячие частицы — те, что ближе всего к звезде, — постепенно поглощались или испарялись ими.

ПРИ ПОИСКЕ других планетных систем используются как прямые, так и косвенные методы. Прямые методы включают регистрацию отраженного света или инфракрасного излучения от самих планет. Основная трудность при этом заключается в том, что излучение планеты «меркнет» в лучах значительно более яркого излучения соседней родительской звезды.

Косвенные методы включают тщательное наблюдение за звездой, чтобы обнаружить гравитационное влияние обращающейся вокруг нее планеты. Когда планета перемещается с одной стороны орбиты на другую, она тянет звезду то вперед, то назад. Эти возмущения проявляются в слабых колебаниях звезды, накладывающихся на ее траекторию при движении по небу. Они могут быть зарегистрированы также как небольшие периодические изменения скорости звезды по отношению к Земле.

Любое перемещение к Земле или от нее вызывает небольшое сжатие или растяжение света звезды. Когда свет сжимается, он становится немного голубее, а когда растягивается — немного краснее; это явление называют эффектом Доплера. Тщательно измеряя положение линий поглощения в спектре звезды, в принципе можно выявить любые периодические изменения ее движения.

Поиски косвенных доказательств можно облегчить, если принять некоторые упрощающие предположения. Многие исследователи считали, что планеты-гиганты у других звезд имеют приблизительно такие же орбитальные периоды, как Юпитер — порядка одного десятилетия. Зафиксировав орбитальный период, можно определить размер орбиты как функцию массы звезды и таким образом рассчитать ожидаемые возмущения в положении или скорости звезды (задав расстояние до нее и предположив определенную массу у планеты).

Другой подход, который мне кажется более логичным, состоит в предположении, что планеты-гиганты формируются на таком расстоянии от звезды, где температура близка или ниже точки конденсации воды. В этом случае размер орбиты планеты-гиганта определяется светимостью звезды. При этом можно оценить также, насколько сильно планета влияет на скорость и форму траектории звезды (см. таблицу справа).

Величина угловых возмущений, или колебаний, возрастает с увеличением расстояния между планетой и звездой, но сокращается с увеличением массы звезды. Если планетные системы формируются таким образом, что

планеты-гиганты всегда стремятся иметь более или менее сходные орбитальные периоды, то слабые маломассивные звезды будут более сильно возмущаться планетами, потому что расстояние планет-гигантов от этих звезд будет уменьшаться не так быстро, как масса самих звезд. Но если планеты-гиганты обычно формируются на расстоянии, где температура немного ниже точки конденсации воды, то ситуация окажется обратной, поскольку расстояние планет-гигантов от звезды будет возрастать значительно быстрее, чем масса звезды. (Однако в обоих случаях маломассивные звезды будут иметь большие возмущения скорости.)

Если определяющим фактором является температура, то типичный орбитальный период планеты-гиганта может быть значительно короче, чем это обычно предполагается. В среднем другие звезды холоднее и обладают меньшей светимостью, чем Солнце, поэтому планеты-гиганты должны обращаться на более близком к ним расстоянии и иметь более короткий период обращения. Для типичной из ближайших звезд с массой около 0,3 солнечной орбитальный период планеты-гиганта может быть короче года, тогда как у Юпитера он составляет около 12 лет.

ДАЖЕ если используются упрощающие предположения, обнаружение других планетных систем остается очень сложной задачей. Современные телескопы и регистрирующая аппаратура работают на пределе возможностей, когда с их помощью ведется поиск компаньонов звезд с массой, сравнимой или меньшей массы Юпитера. В результате этого история поиска планет изобилует ошибками и неподтвержденными открытиями.

По-видимому, среди всех звезд, у которых искали планетные системы, самая известная — это слабенькая, хо-

лодная (спектральный класс M), маломассивная звезда Барнарда, названная в честь американского астронома Э. Барнарда, который в 1916 г. отметил ее необычные свойства. Звезда Барнарда перемещается по небу быстрее всех известных звезд. К тому же после тройной звездной системы в Центавре, она на втором месте по близости к Солнцу: до нее всего 6 св. лет.

В 1937 г. П. ван де Камп, работая на Обсерватории Спрул, пришел к выводу, что эти два свойства делают звезду Барнарда идеальной для косвенного поиска планетной системы, поскольку любые ее колебания должны быть относительно велики и легко заметны. Ван де Камп собрал данные о положении звезды Барнарда начиная с 1916 г., а также взялся за получение собственных данных о ней, используя телескоп Обсерватории Спрул.

В 1960 г. он установил, что звезда Барнарда имеет два юпитероподобных спутника, обращающихся с периодами в 12 и 24 года соответственно. Однако исследования, проведенные за последнее десятилетие Дж. Гейтвудом из Обсерватории Олгени в Питсбурге и независимо Р. Харрингтоном из Морской обсерватории США, показали, что движение звезды Барнарда не согласуется с существованием «планет ван де Кампа». Исследования этих двух ученых исключают возможность существования у звезды Барнарда только спутников с массой, существенно превосходящей массу Юпитера, но менее массивные компаньоны у нее могут быть.

Другим широко известным объектом с субзвездной массой стал спутник соседней с Солнцем звезды Ван Бисбрук 8, получивший обозначение VB8-b. Он был открыт в 1984 г. Харрингтоном и независимо Д. Маккарти с коллегами из Аризонского университета. Эти наблюдения казались особенно убедительными, поскольку для обнаружения объекта были использованы две различные методики.

ПАРАМЕТРЫ ДВИЖЕНИЯ ПЛАНЕТ ВОКРУГ ЗВЕЗД

МАССЫ ЗВЕЗДЫ (СОЛНЦЕ 1)	РАДИУС ОРБИТЫ, А.Е.	ТЕМПЕ- РАТУРА, К	ОРЕИТАЛЬНЫЙ ПЕРИОД, ГОДЫ	ВАРИАЦИИ ПОЛОЖЕНИЯ, МИКРОСЕК. УГЛ.	ВАРИАЦИИ СКОРОСТИ, М/С
ОДИНАКОВЫЕ ОРЕИТАЛЬНЫЕ ПЕРИОДЫ					
3	7,6	293	12	76	0,17
1	5,2	135	12	157	0,39
0,3	3,5	57	12	351	0,88
ТЕМПЕРАТУРНОЕ ОГРАНИЧЕНИЕ					
3	22,6	170	61,6	226	0,1
1	3,3	170	6,0	99	0,5
0,3	0,4	170	0,5	40	2,6

МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ПЛАНЕТНОЙ СИСТЕМЫ

КОСВЕННЫЕ



ПРЯМЫЕ



Харрингтон проводил астрометрические наблюдения, чтобы заметить колебания в движении более яркого компаньона VB8-a, вызванные обращением вокруг него спутника VB8-b, а Маккарти с помощью инфракрасного спекл-интерферометра наблюдал излучение слабого объекта вблизи яркого.

После бурных дебатов ученые пришли к согласию, что VB8-b является объектом промежуточного класса с массой приблизительно в 1/20 солнечной, т. е. примерно в 50 раз массивнее Юпитера. Этот объект, названный коричневым карликом, по-видимому, слишком мал, чтобы в его недрах могли протекать ядерные реакции, обеспечивающие энергией звезды, и поэтому его практически невозможно заметить при наблюдении в оптическом диапазоне. В течение нескольких лет после открытия объекта VB8-b различные группы исследователей проводили наблюдения с большей чувствительностью, чтобы подтвердить его существование и точнее измерить параметры. Но, несмотря на все усилия, они не обнаружили даже признаков этого широко разрекламированного объекта. Сейчас большинство астрономов считает, что VB8-b не существует, во всяком случае в том виде, как это утверждалось на основе ранних наблюдений.

ОЧЕНЬ точный метод для выявления малых возмущений скорости был разработан недавно Б. Кэмпбеллом и его коллегами из Университета Виктории. Этот метод заключается в сравнении спектров звезд с высокодисперсным лабораторным спектром одного довольно гадкого соединения — фтористого водорода. В принципе приборы Кэмпбелла фиксируют значительно меньшие доплеровские смещения и, следовательно, значительно более слабые возмущения скорости, чем можно было регистрировать ранее.

Кэмпбелл и его коллеги, работающие на канадо-франко-гавайском телескопе, установленном на Мауна-Кеа, измеряли лучевые скорости 15-ти звезд шесть раз в год с точностью около 10 м/с. (Такая точность поразительна, учитывая, что конвективные потоки у поверхности солнцеподобных звезд обычно движутся со скоростями порядка 1000 м/с.) Результаты, полученные группой Кэмпбелла, приостановили поток сообщений об открытии других планетных систем. Но в то же время ученым удалось обнаружить признаки долгопериодического ускорения, т. е. потенциального существования планет, почти у половины исследованных звезд.

Наиболее любопытным объектом среди исследованных группой Кэмпбелла оказалась звезда γ Цефея — старый оранжевый субгигант (спектральный класс K1, класс светимости III—IV), масса которого по оценкам несколько больше массы Солнца. Данные спектральных измерений, собранные с 1981 г., привели Кэмпбелла к выводу, что γ Цефея проявляет циклическое изменение скорости с амплитудой 25 м/с и периодом 2,6 года. Такой период, а также оценка массы звезды, указывают, что орбита спутника удалена приблизительно на 300 млн. км от γ Цефея, или примерно вдвое дальше, чем Земля от Солнца. С учетом наблюдаемых вариаций скорости спутник должен быть по крайней мере в 1,5 раза массивнее Юпитера.

Было бы удивительно обнаружить планету-гигант, обращающуюся столь близко от звезды сравнительно высокой светимости. Ну что же, удивление — это исток научного поиска. Более настораживающим аспектом работы Кэмпбелла является то, что полученные недавно с большей точностью данные о звезде γ Цефея показывают существенное отклонение в ее движении от ожидаемого в том случае, если бы предполагаемая планета обращалась вокруг звезды. Окончательно решить эту проблему не удастся до тех пор, пока продолжительность наблюдений γ Цефея не покроет нескольких 2,6-летних «орбитальных периода». Тем не менее эта работа, а также проводимые с такой же чувствительностью и точностью наблюдения Р. Макмиллана с коллегами из Аризонского университета имеют прекрасные перспективы.

Д. Латам и его сотрудники из Гарвард-Смитсоновского астрофизического центра, используя менее точную, но более привычную методику измерения скорости, получили наиболее сильное на сегодняшний день доказательство существования спутника субзвездной массы. Группа Латама более 12 лет наблюдала солнцеподобную звезду HD 114762 и обнаружила, что она демонстрирует периодические вариации скорости. В данном случае результаты подтверждаются измерениями, проведенными на европейских обсерваториях.

Латам и его коллеги обнаружили вариации скорости, имеющие период около 84 суток и амплитуду около 550 м/с. Если звезда имеет такую же массу, как Солнце (а это согласуется с ее температурой и светимостью), то найденный период означает, что спутник обращается на расстоянии около 60 млн. км от нее, т. е. приблизительно на таком же расстоянии, как Меркурий от Солнца. При этом нижний предел

массы спутника составляет 11 масс Юпитера. Недавно более точные наблюдения В. Кохрана и его коллег из Техасского университета в Остине подтвердили найденный период и показали, что орбита спутника эксцентрична, а его масса существенно больше, чем давали предыдущие оценки.

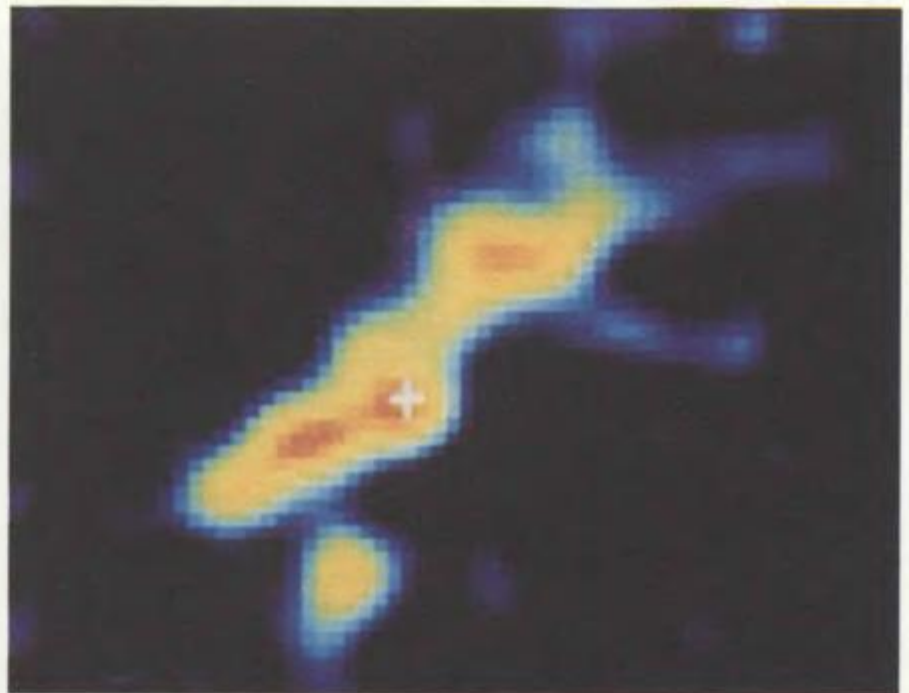
По понятным причинам многие исследователи хотели бы видеть в этом спутнике настоящую внесолнечную планету, но у меня есть сомнения. Этот спутник значительно массивнее любой планеты Солнечной системы. Он может принадлежать не к планетам, а к самому маломассивному концу последовательности звездобразных объектов, и в этом случае HD 114762 может быть крайним типом двойной звезды. Хотя процесс формирования двойных звезд не до конца понятен, кажется маловероятным, что он определяется тем, будут ли объекты достаточно массивными, чтобы в их ядрах начались термоядерные реакции. У нас нет причин сомневаться, что природа может создать двойные системы, в которых один из членов — нормальная звезда, а другой — коричневый карлик.

Объекты в 10—20 раз более массивные, чем Юпитер, вероятно, формируются как звезды, а не как планеты, т. е. они конденсируются непосредственно из газового облака, а не из око-

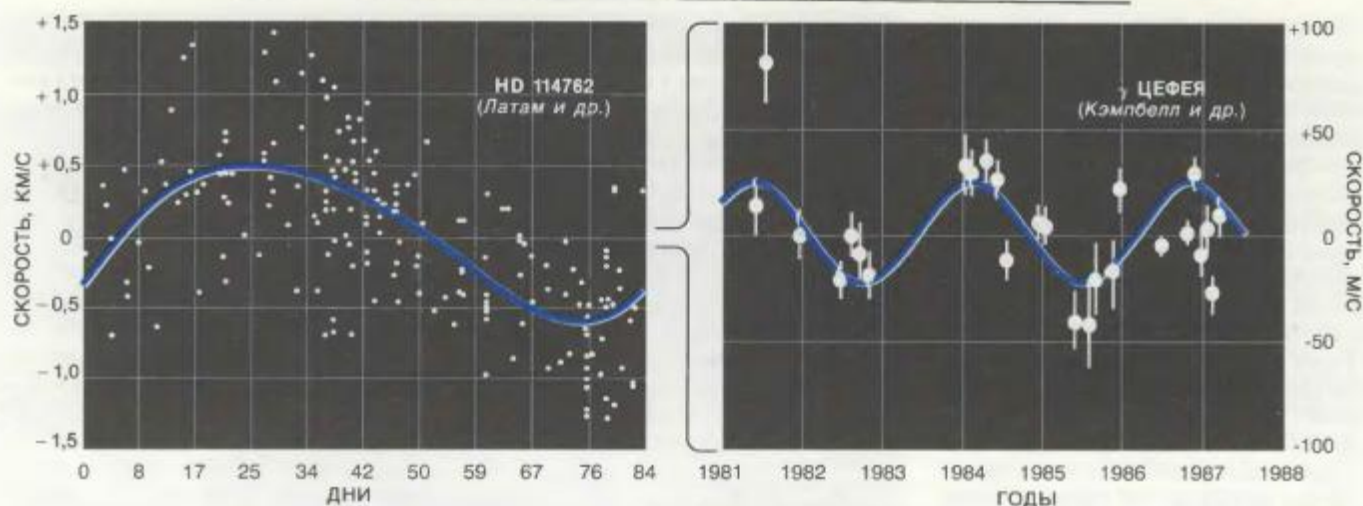
лозвездного диска. По-моему, эти два различных способа формирования проявляются в том, что планетные системы (во всяком случае та, что нам известна) состоят из большого числа тел, тогда как звезды образуют преимущественно двойные или тройные системы. Разрыв между параметрами планет и коричневых карликов кажется загадочным, но, по-видимому, он реально существует. Отсюда следует важный принцип, которого необходимо придерживаться при поиске планетных систем: целью этого поиска должно быть обнаружение планетных систем, а не коричневых карликов. Системы, состоящие из звезды и одного субзвездного спутника, не являются планетными системами.

ТЕМ НЕ менее изучение коричневых карликов может пролить свет на то, как формируются звезды и планеты. Современным методам прямого поиска не хватает чувствительности, чтобы зарегистрировать вблизи других звезд планеты размером с Юпитер или меньше, но они могут дать существенную информацию о более крупных субзвездных спутниках. В основном эти поиски предпринимаются в инфракрасной области спектра.

Наблюдения с помощью новых высокочувствительных инфракрасных телескопов выявили слабые холодные



СЖАТЫЙ ГАЗО-ПЫЛЕВОЙ ДИСК, обращающийся вокруг молодой звезды HL Тельца (отмечена белым крестиком), на карте, изображающей в условных цветах радиоизлучение молекул монооксида углерода (CO). Диаметр этого диска приблизительно в 30 раз больше, чем у орбиты Плутона. Подобные диски окружают и другие молодые звезды; они являются самым подходящим местом для рождения планет.



СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ звезды HD 114762 указывают на гравитационные возмущения со стороны субзвездного спутника, вероятно, коричневого карлика. Полу-

чено также доказательство (но с меньшей надежностью) существования планеты с массой Юпитера, обращающейся вокруг звезды γ Цефея.

спутники у некоторых звезд. Б. Цукерман и Э. Беклин из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе, а также другие исследователи обнаружили карликовые спутники, отыскивая избыток инфракрасного излучения, который нельзя объяснить излучением нормальной звезды. Свойства всех обнаруженных до сих пор объектов согласуются с нашими представлениями о коричневых карликах с массами в несколько десятков масс Юпитера. Однако до сих пор нельзя утверждать, что коричневые карлики надежно обнаружены.

Различные группы ученых, например Маккарти с коллегами из шт. Аризона и Дж. Мерси с сотрудниками из Сан-Францисского университета накапливают данные о распространности коричневых карликов. Аризонская группа проверила 27 ближайших красных карликов — звезд спектрального класса М. Для поиска настолько тусклых спутников, что их невозможно обнаружить в видимом диапазоне, исследователи применили спектр-интерферометрию в инфракрасном диапазоне вблизи длин волн 1,6 и 2,2 мкм (называемых полосами Н и К).

Число звезд в инфракрасных обзорках быстро увеличивается с уменьшением их яркости приблизительно до 10 звездной величины в полосе К, после чего их число резко уменьшается (большие значения звездной величины соответствуют меньшей яркости). Аризонская группа не обнаружила источников излучения в диапазоне от +10,0 до +11,5 звездной величины в полосе К. Яркость в +11,5 звездной величины (это предел обзора) соответствует предполагаемой инфракрасной светимости коричневого карлика с массой в 70—80 раз большей,

чем у Юпитера, и с возрастом в несколько миллиардов лет, если наблюдать его с расстояния 5 парсек (16 св. лет). Очевидное отсутствие таких источников свидетельствует о том, что не существует непрерывного ряда объектов, заполняющих промежуток между звездами и планетами.

Такая точка зрения находит подтверждение в работе Мерси и К. Беница, студента из Сан-Францисского университета, которые недавно обследовали 70 маломассивных звезд с помощью измерителя лучевых скоростей, имеющего точность 230 м/с. Такая техника могла бы выявить любой субзвездный спутник с массой вплоть до семи масс Юпитера при условии, что орбитальный период спутника не превышает четырех лет. В результате проведенного обзора у изученных звезд было открыто шесть не известных ранее звездных компаньонов, но доказательств существования у них субзвездных спутников получено не было. Таким образом, обзор радиальных скоростей и результаты длительного астрометрического исследования звездных положений совместно показали, что менее 2% всех звезд могут иметь субзвездных компаньонов с массами, превышающими 10 масс Юпитера.

В некоторых случаях отсутствие открытия само по себе может стать важным открытием. Я давно уже чувствую, что именно такова ситуация с субзвездными объектами. Как правило, легкие звезды встречаются чаще, чем массивные. Экстраполируя эту зависимость, многие теоретики полагали, что коричневые карлики в невероятном количестве, словно пыль, заполняют всю Галактику. Но обнаруженная малочисленность субзвездных спутников ес-

тественным образом вынуждает нас сказать себе, что настало время переосмыслить некоторые физические процессы, связанные с формированием звезд особо малой массы.

Очевидно, что современные средства не позволяют провести исчерпывающий поиск других планетных систем. Чтобы реализовать этот проект на высоком научном уровне, требуется новое поколение приборов для проведения детальных наблюдений. В общем целенаправленные наблюдения должны быть проведены с достаточной точностью и чувствительностью, так чтобы отрицательный результат этого поиска с полной определенностью улучшил наше понимание процесса формирования планетных систем. Такой подход помогает при выборе приборов, которые могут быть использованы для поиска планетных систем. Уже выдвинуто немало многообещающих конструкторских идей в этой области: одни — для использования в наземной астрономии, другие — в космической.

ИЗМЕРЕНИЯ лучевой скорости (и ее вариаций) относительно мало чувствительны к размытости изображений, вызванной турбулентностью земной атмосферы. Большие специализированные телескопы позволяют проводить тщательный обзор от десятков до сотен звезд с целью поиска у них компаньонов-планет. Именно таковы телескопы, работающие сейчас в Аризонском и Техасском университетах, которые можно считать прототипами нового поколения систем измерения лучевой скорости.

Другим типом наземных систем могут стать очень крупные телескопы с диаметром главного зеркала от 7 до

10 м, снабженные системой активной оптики, которая, изменяя форму поверхности зеркала, компенсирует атмосферные искажения. Эти инструменты, которые можно будет использовать для поиска других планетных систем непосредственно в инфракрасном диапазоне, могут резко изменить современные представления о структуре и эволюции дисков, окружающих молодые звезды.

Большинство приборов для поиска планет лучше всего функционировали бы в космосе. Космический инфракрасный телескоп НАСА (Space Infrared Telescope Facility), запуск которого планируется на конец 90-х годов, будет проводить инфракрасные наблюдения околозвездных дисков и новорожденных планетных систем; полученные им изображения должны быть существенно лучше тех, которые были переданы с борта спутника IRAS в 1983 г.

Астрометрия — сверхточное измерение положения звезд — значительно усовершенствуется, если наблюдения будут проводиться из космоса. Задача состоит в том, чтобы измерить угловые отклонения звезды с точностью до десятых миллионных долей угловой секунды — под таким углом с Земли видна десятицентовая монета на Луне! Такая точность позволит обнаруживать спутники массой всего в 10 масс Земли у любой звезды в пределах 10 парсек (30 св. лет) от Солнца.

Телескопы с высококачественными зеркалами и специальными масками, отсекающими яркий свет центральной звезды, в принципе могут непосредственно в лучах видимого света давать изображения планет, обращающихся вблизи этих звезд. Очень привлекательна возможность совместить астрометрические измерения и получение изображений в одном телескопе. В Лаборатории реактивного движения в Пасадине (шт. Калифорния) сейчас исследуется возможность создания такого комбинированного инструмента.

Среди нового поколения приборов для поиска планет, безусловно, будут оптические интерферометры, т. е. системы из нескольких телескопов, создающие столь же детальное комбинированное изображение, как один телескоп гигантского размера. Такие системы будут иметь в тысячи раз большую разрешающую силу, чем существующие ныне инструменты. Луна могла бы стать идеальным местом для размещения оптического интерферометра и многих других астрономических приборов. Полагают, что обратная сторона поверхности Луны станет местом для размещения си-

стем поиска не только далеких планет, но и сигналов от разумных обитателей Вселенной (см. статью: Дж. Бернс, Н. Дюрк, Дж. Тейлор, С. Джонсон. Обсерватория на Луне, «В мире науки», 1990, № 5).

Веками люди стремились узнать о существовании иных миров. Впервые поиск других планетных систем был принят полвека назад, и за прошедшее время астрономам удалось вплотную

приблизиться к своей цели. Возросший интерес к этой области исследований, наряду с созданием более точных приборов вселяет надежду, что ближайшие несколько десятилетий будут чрезвычайно плодотворными. Обнаружение первой планетной системы помимо нашей станет важной вехой, которая ознаменует окончание революции мышления, начатой около 450 лет назад Николаем Коперником.

Вниманию читателей!

КРАСОТА И МОЗГ. БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭСТЕТИКИ

Под ред. И. Ренчлера, Б. Хериберга, Д. Элстайна.
Перевод с английского

В книге международного коллектива авторов (ФРГ, США, Канада, Япония, Италия, Швейцария) рассматриваются нейрофизиологические основы эстетики: роль временной организации мозговых процессов в формировании эмоциональных реакций на поэзию, музыку, танец; зрительное восприятие и зависимость эстетической оценки от некоторых параметров зрительного изображения; значение латерализации функций левого и правого полушарий для художественного творчества. По данным изучения паузасов Новой Гвинеи рассмат-

риваются биологическое и эстетическое значение декорирования тела человека и другие вопросы.

Для нейрофизиологов, антропологов, психологов, искусствоведов.

Академик П.В. Симонов: «Книга представляет собой коллекцию работ, в которых предпринята попытка рассмотреть некоторые проблемы эстетики, опираясь на последние достижения нейрофизиологии. По сути дела, речь идет о возникновении новой научной дисциплины, которая в предисловии редакторов книги названа нейроэстетикой».

1992 г. 23 л. Цена 4 р. 60 к.

Р. Флиндт БИОЛОГИЯ В ЦИФРАХ

Сборник таблиц, включающих более 10000 данных
Перевод с немецкого

Составленный автором из ФРГ справочник, включающий более 10000 данных из области анатомии и общей биологии животных, растений и (в меньшей степени) микроорганизмов. Значительная часть сборника содержит данные по биологии человека.

Для биологов всех специальностей, студентов биологов и медиков.

Из рецензии: «Этот справочник представляет собой третье издание,

переработанное и дополненное, и содержит вполне современный фактический материал. К числу достоинств книги следует отнести наличие литературных ссылок к каждой таблице, использование иллюстративного материала, дополняющего таблицы, подробный предметный указатель. В отечественной литературе подобные биологические справочники отсутствуют». (к.б.н. И. И. Товарова).

1991 г. 11 л. Цена 1 р. 10 к.

Эти книги вы сможете заказать в магазинах научно-технической литературы.



Аспирин

До сих пор еще не полностью выяснены механизмы
разнообразного действия этого старинного препарата
и близких ему соединений

ДЖЕРАЛД ВЕЙССМАНН

«В Англии произрастает дерево, кора которого, как я убедился на опыте, является сильно вяжущим средством и очень эффективна для лечения лихорадки и других заболеваний, сопровождающихся периодическими приступами жара.»

Из письма его преподобия господина Эдмунда Стоуна из Чиппинг-Нортон в графстве Оксфордшир, посланного 25 апреля 1763 г. президенту Королевского общества distinguished gentleman сэру Джорджу, графу Макклесфилдскому.

ОТКРЫТИЕ Стоуна, хотя он и не знал этого, было открытием салицилатов, т. е. производных салициловой кислоты, которые снимают лихорадочное состояние и ослабляют боли при различных острых, сопровождающихся ознобом заболеваниях — простудах, малярии и др. Кора ивы *Salix alba* обладает вяжущим свойством благодаря высокому содержанию гликозида салициловой кислоты, называемого салицином.

В настоящее время из салицилатов наиболее широко применяется ацетилсалициловая кислота, более известная под своим первым коммерческим названием «аспирин». Американцы потребляют ежегодно 16 т (80 млрд. таблеток) аспирина и тратят примерно 2 млрд. долл. в год на обезболивающие средства, продающиеся без рецепта, многие из которых содержат аспирин и подобные аспирину соединения.

Как и наблюдал Стоун, эти препараты имеют широкий спектр действия: в самых низких дозах — менее одной таблетки в день — аспирин может быть использован для лечения и предотвращения сердечных приступов, для предупреждения церебральных тромбозов. От 2 до 6 таблеток в день (1—3 г) облегчают боли и лихорадочное состояние. Высокие дозы (4—8 г в день) уменьшают красноту и опухание суставов при таких заболеваниях как ревматическая лихорадка, подагра, ревматоидный артрит.

Аспирин и другие салицилаты могут вызывать также множество иных

биологических эффектов — как позитивных, так и негативных (далеко не все используются в клинике). Салицилаты способствуют рассасыванию мозолей на пальцах ног, провоцируют потерю мочевой кислоты из почек и приводят к гибели бактерий *in vitro*. Аспирин препятствует свертыванию крови, вызывает образование язвы желудка и двенадцатиперстной кишки, а также задержку жидкости в почках.

В клеточной биологии салицилаты используются для ингибирования транспорта ионов через клеточные мембраны, нарушения активации лейкоцитов и предотвращения синтеза в изолированных митохондриях аденозинтрифосфата, служащего в клетке источником энергии. В молекулярной биологии эти соединения применяются для активации генов, кодирующих так называемые белки теплового шока, в хромосомах типа ламповых щеток плодовой мушки *Drosophila*. А ботаники с помощью салицилатов вызывают цветение у некоторых растений, таких как недотрога и колдовская лилия.

Из-за огромного разнообразия эффектов, которые может вызывать аспирин, очень сложно выявить участвующие в них биохимические механизмы. Только в начале 1970-х годов была предложена гипотеза, объясняющая действие аспирина и близких ему соединений — ибупрофена, индометацина и пироксикама. Она основывалась на способности этих препаратов блокировать синтез клеточных гормонов простагландинов, участвующих в механизмах боли и воспалительной реакции.

Позже стало ясно, что эта гипотеза объясняет только некоторые эффекты аспирина и близких ему соединений. Их мощное противовоспалительное действие, по-видимому, связано не только с ингибированием синтеза простагландинов, но и с тем, что они могут нарушать взаимодействия в клеточных мембранах. Недавно в моей лаборатории, например, было показано, что подобные аспирину препараты предотвращают активацию клеток, участвующих в первых

стадиях острого воспалительного процесса.

ИСТОРИЯ того, как экстракты из ивы прошли путь от оксфордширской микстуры против лихорадки до молекулярно-биологических лабораторий кратко описывается четырьмя «G» Пауля Эрлиха: *Geduld, Geschick, Geld, Glück* (что по-немецки значит: терпение, мастерство, деньги, удача). Стоуну, похоже, указала дорогу именно удача.

В 1757 г. Стоун попробовал кору ивы (широко известное к тому времени народное средство) и был удивлен ее чрезвычайной горечью. Сходство по вкусу с изготавливаемой из коры хинного дерева хиной — редким и дорогим средством для лечения малярийной лихорадки, заинтересовало его. Шесть лет внимательных клинических наблюдений нашли свое завершение в его письме в Королевское общество. Стоун предложил разумное обоснование использования коры ивы при заболеваниях, сопровождающихся лихорадочным состоянием; он исходил из традиционной точки зрения, согласно которой «многим природным болезням сопутствуют средства для их лечения» или другими словами «средства для лечения заболевания находятся недалеко от причин, его вызвавших». В Англии местности с сырым климатом изобиловали ивами, так же как и лихорадкой.

Полвека спустя, движимые отчасти стремлением к национальному приоритету, французские и немецкие фармакологи соревновались в поисках действующего начала ивовой коры. К 1828 г. в Фармакологическом институте в Мюнхене Иоганн А. Бухнер выделил небольшое количество салицина в виде горьковатых игольчатых кристаллов желтого цвета. Годом позже француз И. Леру усовершенствовал метод экстракции и получил одну унцию чистого салицина из трех фунтов коры. В 1833 г. фармацевт Э. Мерк из Дармштадта получил чистый препарат салицина, который был вдвое дешевле, чем выделяемый из ивовой коры. Наконец, в 1838 г. Рафаэль Пирья из Пизы, работавший в Париже, рас-

щепил салицин, показав, что это гликозид, и, окислив ароматический компонент получил вещество, названное им салициловой кислотой.

Богатыми природными источниками салицилатов оказались и другие растения. Так, из лабазника вязолистного (*Spiraea ulmaria*) можно получить довольно большое количество растворимого в эфире масла, из которого немецкий химик Карл Якоб Левиг в 1835 г. выделил кристаллы вещества, названного *Spirsäure*. В 1839 г. французский ученый Жан Батист Дюма показал, что это вещество является не чем иным, как салициловой кислотой. А в 1843 г. Огюст Каур, тоже француз, продемонстрировал, что в масле, получаемом из листьев вечнозеленого растения гаультерии лежачей (*Gaultheria procumbens*), — традиционном средстве про-

тив лихорадки — содержится метиловый эфир салициловой кислоты.

КАК БЫЛО характерно для химии XIX столетия, французские и английские ученые немного опережали немецких в изучении природных продуктов, однако немцы держали первенство в технологии синтеза органических соединений. Конкурируя с французской и английской индустрией по производству красок, которая снабжала текстильные фабрики Лиона и Макклесфилда пигментами, импортируемыми из заморских колоний, Германия ответила внедрением дешевых анилиновых красителей, создав в результате такие гигантские предприятия как основанная Фридрихом Бейером фирма *Farbenfabriken*. К середине 1870-х годов в химическом синтезе немцы вышли на первое

место в мире. В 1860-х годах немецкие красители не экспортировались, а к 1888 году Германия обеспечивала более 80% мировых потребностей.

Немцы начали доминировать также в «ивовом» бизнесе. В 1859 г. Герман Кольбе и его ученики в Марбургском университете синтезировали салициловую кислоту и ее натриевую соль исходя из фенола, диоксида углерода и натрия. В 1874 г. один из этих учеников, Фридрих фон Хейден, основал первую большую фабрику для получения синтетических салицилатов в Дрездене. Если в 1870 г. 1 кг салициловой кислоты, полученной из салицина, стоил 100 талеров, то к 1874 г. цена синтетического продукта стала в 10 раз меньше.

Доступность дешевой салициловой кислоты позволяла широко использовать ее в медицинской практике. В



ИВА является источником салицина — горького на вкус соединения, чье производное, известное под названием ацетилсалициловая кислота, или аспирин, широко используется как болеутоляющее и жаропонижающее средство.

Салицилаты содержатся также в некоторых других растениях, в частности в лабазнике вязолистном (*Spiraea ulmaria*) и гаультерии лежачей (*Gaultheria procumbens*).

1876 г. Франц Стрикер и Людвиг Райс в издании «Berliner Klinische Wochenschrift» и Т. Маклаган в журнале «Lancet» сообщили об успешном лечении заболевания, называемого сейчас острой ревматической атакой, салицилатами в дозах 5—6 г в день. К сожалению, только острые симптомы болезни, но не ее хроническая форма поддавались такой терапии.

При ревматической атаке возникает воспалительная реакция в соединительнотканых структурах, в частности в суставах, причем организм атакует сам себя, как если бы он отчаянно боролся с чужеродными патогенами, скажем бактериями. Наиболее сильное и длительное повреждающее действие испытывает сердце; примерно треть больных страдает от поражения сердечных клапанов.

В 1877 г. Жермен Се в Париже предложил салицилаты как эффективное средство для лечения подагры и хронического полиартрита. Последний термин охватывает ревматоидный артрит (это уродующее воспалительное заболевание суставов встречается обычно у людей среднего возраста; чаще у женщин, чем у мужчин) и дегенеративный остеоартрит (весьма болезненный воспалительный процесс в суставах и суставных концах костей; часто поражает колени у футболистов, пальцы на ногах у молодых артистов балета, а также различные суставы у большинства людей старше 60 лет).

Аспирин, наиболее распространенный сейчас салицилат, «включился в соревнование» довольно поздно. История его открытия в 1897 г. началась с того, что у одного из сотрудников фирмы Бейера по имени Феликс Хофманн, который занимался анилиновыми красителями, отец страдал артритом, но не переносил салицилаты натрия из-за хронического острого раздражения желудка (что неудивительно: 6—8 г салицилата в день — это несомненно сильное раздражение для пищеварительного тракта). Хофманн разыскивал в химической литературе сведения о производных салицилата натрия с меньшей кислотностью и наткнулся на данные об ацетилсалициловой кислоте. Она оказалась более приятной на вкус, и, как подчеркивал Хофманн, более эффективно помогала его отцу. (Я подозреваю, что у отца Хофманна был остеоартрит и небольшие дозы ацетилсалициловой кислоты, которые снимали боли, облегчали его состояние лучше, чем высокие дозы салицилата натрия, оказывающего противовоспалительное действие.)

Бейер назвал новый препарат «аспирин», взяв букву «а» от слова acetyl (ацетил) и часть «спирин» от немецкого слова Spirsäure (с французским корнем получилось бы asalicylin). К 1899 г. не было в мире химической индустрии, способной соперничать с немецкой. Немцы выиграли «аспириновую войну».

Соревнование развернулось, когда увеличился спрос на препараты, способные снимать жар и боль. Собственно, некоторые средства были разработаны до открытия аспирина, но получили одобрение в качестве коммерческих лекарственных препаратов в Европе и США только после успеха аспирина, что произошло на рубеже прошлого и нынешнего веков. В 1889 г. Карл Морнер, основываясь на сообщении из Эльзаса о том, что продукт, полученный при обработке анилина уксусной кислотой, действует как жаропонижающее средство, синтезировал ацетанилид — по существу анилиновый аналог ацетилсалициловой кислоты.

Ацетанилид сам по себе вызывает подавление деятельности костного мозга и анемию, поэтому начались поиски других аналогичных соединений. Наиболее широко признанным производным анилина стал фенацетин (ему отвечает буква Р в препарате, называемом «АРС», который с 1939 г. был излюбленным лекарством у врачей американской армии, выдававших солдатам, страдающим лихорадкой, таблетки, состоявшие из аспирина, фенацетина и кофеина). Как ацетанилид, так и фенацетин превращаются в организме в N-ацетил-п-аминофенол, который называют по-разному — в США «ацетаминофен», в Великобритании «парацетамол», в продаже он имеет также название «тиленол».

НЕСТЕРОИДНЫЕ ПРОТИВОВОСПАЛИТЕЛЬНЫЕ ПРЕПАРАТЫ

КАРБОНОВЫЕ КИСЛОТЫ

САЛИЦИЛАТЫ

АЦЕТИЛСАЛИЦИЛОВАЯ КИСЛОТА (АСПИРИН)
САЛСАЛАТ
ДИФЛУНИСАЛ
ФЕНДОСАЛ

АЦЕТАТЫ

ИНДОМЕТАЦИН
АЦЕМЕТАЦИН
СУЛИНДАК
ТОЛМЕТИН
ЗОМЕПИРАК
ДИКЛОФЕНАК
ФЕНКЛОФЕНАК
ИЗОКСЕПАК

ПРОПИОНАТЫ

ИБУПРОФЕН
ФЛУРБИПРОФЕН
НАПРОКСЕН
КЕТОПРОФЕН
ФЕНОПРОФЕН
БЕНОКСАПРОФЕН
ИНДОПРОФЕН
ПИРПРОФЕН
КАРПРОФЕН

ФЕНАМАТЫ

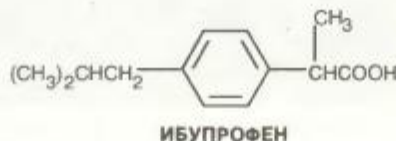
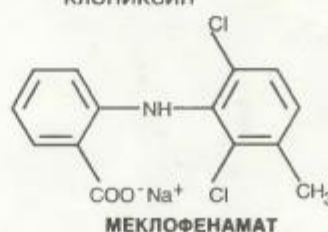
МЕФЕНАМОВАЯ КИСЛОТА
ФЛУФЕНАМОВАЯ КИСЛОТА
МЕКЛОФЕНАМАТ
НИФЛУМОВАЯ КИСЛОТА
ТОЛФЕНАМОВАЯ КИСЛОТА
ФЛУНИКСИН
КЛОНИКСИН

ПИРАЗОЛЫ

ФЕНИЛБУТАЗОН
ФЕПРАЗОН
АПАЗОН
ТРИМЕТАЗОН
МОФЕБУТАЗОН
КЕБУЗОН
СУКСИБУЗОН

ОКСИКАМЫ

ПИРОКСИКАМ
ИЗОКСИКАМ
ТЕНОКСИКАМ



Но ни ацетанилид, ни фенацетин не оказались такими полезными, как аспирин в лечении ревматической лихорадки и ревматоидного артрита; за полвека — с 1900 по 1950 г. — врачи убедились, что высокие дозы салицилатов обладают уникальными свойствами. Дозы более 4 г в день не только облегчают лихорадочное состояние и боль; они также уменьшают опухание, отек и ослабляют объективные симптомы воспаления. Кроме того, в этих дозах аспирин существенно влияет на показатели лабораторных анализов, указывающих на патологию — скорость оседания эритроцитов и уровень так называемого С-реактивного белка, образующегося в печени в ответ на инфекцию. Хотя позже такие препараты как ибупрофен, индометацин и пироксикам тоже проявили себя как противовоспалительные, механизм действия всех этих соединений был неясен.

КНАЧАЛУ 1970-х годов не имелось ни одной удовлетворительной гипотезы, объясняющей механизмы разнообразного действия салицилатов. Было обнаружено, что в почках салицилаты в низких дозах блокируют выделение мочевой кислоты, тем самым повышая ее содержание в крови; а высокие дозы салицилатов, что парадоксально, стимулируют почечную экскрецию, снижая уровень мочевой кислоты. Последнее объясняет эффективность салицилатов при подагре — как острой, так и хронической.

Фармакологические исследования показали, что салицилаты снимают боль, действуя на ткани и связанные с ними афферентные нервные волокна — в противоположность морфину, который действует на мозг. Но многие физиологи придерживались мнения, что салицилаты облегчают лихорадочное состояние, прямо влияя на соответствующие центры в гипоталамусе, а не в результате периферийного эффекта.

Еще труднее было объяснить, как аспирин подавляет функцию тромбоцитов, приводит к задержке солей и воды, к нарушению пищеварения. Оставалось также неясным, почему у некоторых людей развиваются носовые полипы, что сопровождается сопением и свистящим дыханием, — этот эффект известен как гиперчувствительность к аспирину.

Первую приемлемую гипотезу о механизме действия аспирина предложили в 1971 г. Дж. Вэйн (получивший в 1982 г. Нобелевскую премию) и его коллеги из Королевского колледжа хирургии в Лондоне. Благодаря этой гипотезе подобные аспирину препараты выдвинулись на передний план не

только в фармакологии, но также в клеточной биологии и, наконец, в медицинской практике. Вэйн заинтересовался тем фактом, что многие повреждения тканей сопровождаются освобождением простагландинов — вездесущих гормонов местного действия, которые образуются в результате ферментативного окисления арахидоновой кислоты, содержащейся в клеточных мембранах. Простагландины выполняют множество регуляторных функций, в том числе влияют на тонус кровеносных сосудов, сокращения матки и деятельность тромбоцитов). В отличие от таких гормонов, как, например, инсулин, простагландины не хранятся в клетках, а выделяются при повреждении клеток или их стимуляции другими гормонами. С помощью высокочувствительных химических и биологических методов анализа показано, что две разные группы простагландинов — E_2 и I_2 — являются причиной нескольких характерных признаков воспаления, включая красноту (расширение просвета кровеносных сосудов) и жар (повышение температуры, лихорадочное состояние).

Используя радиоактивно меченную арахидоновую кислоту, Вэйн показал, что аспирин и близкие ему препараты ингибируют синтез простагландинов E_2 и $F_{2\alpha}$. Было также обнаружено, что тромбоциты, взятые у добровольцев, принимавших аспирин и индометацин, не способны синтезировать простагландины в ответ на фактор свертывания крови тромбин. Наконец, индометацин, как выяснилось в опытах на собаках, ингибирует нормальное освобождение простагландинов из селезенки, стимулируемое катехоламиновыми нейромедиаторами. Не оставалось сомнений, что аспирин и подобные ему соединения блокируют синтез простагландинов.

ИСТОРИЯ салицилатов, казалось, уже прошла свои начало, середину и конец и остались только детали: показать, как и когда простагландины вызывают красноту и отек, сопровождающиеся температурой и болью, каким образом препараты типа аспирина ингибируют фермент, известный теперь как простагландин H-синтаза, превращающий арахидоновую кислоту в простагландины. Этот фермент обеспечивает синтез стабильных простагландинов (типа E , I и F) через нестабильные интермедиаты G_2 и H_2 , открытые в 1970-х годах Б. Сэмюэльсоном из Королевского института в Стокгольме (также удостоенным в 1982 г. Нобелевской премии).

К 1974 г. Вэйн и С. Феррейра собра-

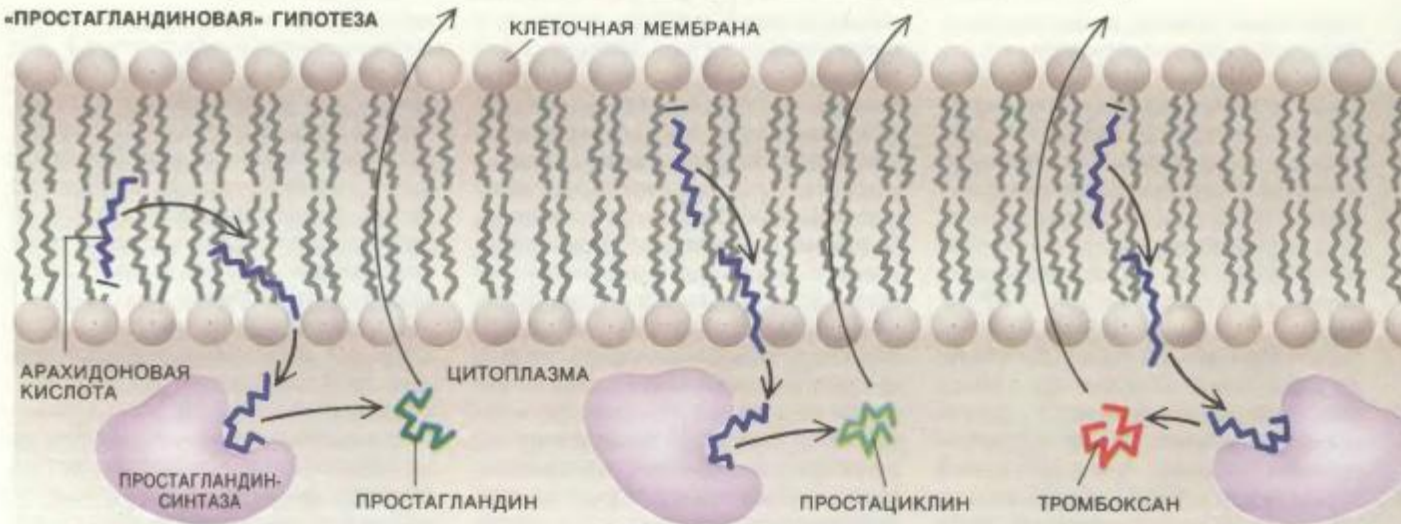
ли убедительные доказательства «простагландиновой» гипотезы. Почти все подобные аспирину препараты, вместе названные нестероидными противовоспалительными препаратами (NSAID — от англ. nonsteroid anti-inflammatory drugs), ингибируют простагландин-синтазу, причем их действенность как лекарств четко коррелирует с их эффективностью в качестве ингибиторов этого фермента. Аспирин в разведении от 1/40 до 1/200 так же активен, как индометацин, а в разведении от 1/5 до 1/50 — как ибупрофен. Кроме того, анальгетики морфин и кодеин, равно как и антигистаминные препараты, антисекреторные агенты, кортизон и его аналоги не ингибируют простагландин-синтазу.

Вэйн и его сотрудники доказали не только сам факт образования простагландинов в местах воспаления, но и их способность — как самостоятельно, так и совместно с другими медиаторами — вызывать основные признаки воспалительной реакции. Действительно, простагландины E_2 и I_2 вызывают расширение кровеносных сосудов и в итоге отек, когда стенки расширенных кровеносных сосудов под влиянием гистамина становятся проницаемыми. Если эти вещества ввести в желудочки головного мозга

ГДЕ ДЕЙСТВУЕТ АСПИРИН



«ПРОСТАГЛАНДИНОВАЯ» ГИПОТЕЗА



Отек, жар и боль вызываются простагландинами, которые клетки производят в ответ на повреждение. Фермент простагландин-синтаза превращает арахидоновую кислоту, являющуюся компонентом клеточной мембраны, в нестабильные простагландиновые интермедиаты, а затем в стабильные простагландины.

В клетках эндотелия, выстилающих кровеносные сосуды, простагландиновые интермедиаты превращаются в простагландин, обладающий сосудорасширяющим действием. В тромбоцитах из этих же интермедиатов синтезируется тромбосан, вызывающий сужение сосудов и участвующий в процессе свертывания крови. Путем избирательного ингибирования простагландин-синтазы тромбоцитов можно уменьшить риск сердечного приступа и инсульта.

или в переднюю часть гипоталамуса, возникает лихорадка. Они также сенсбилизируют болевые рецепторы кожи к таким вызывающим боль соединениям, как брадикинин и гистамин.

Пожалуй, самый убедительный аспект «простагландиновой» гипотезы — ее объяснение побочных эффектов NSAID, наблюдаемых в клинике. Из них наиболее неприятный — раздражение желудка и возникновение язвы; в этом отношении хуже всего аспирин. Такое действие NSAID объясняется тем, что они блокируют синтез простагландинов, необходимых для регуляции производства кислоты в выстилке желудка и образования защитного слизистого слоя, который предотвращает самопереваривание.

Кроме того, большинство NSAID препятствует экскреции соли и воды из организма, особенно при заболеваниях сердца или печени, когда нарушается кровоток к почкам. Из-за того что NSAID блокируют в почках синтез простагландина I_2 , вызывающего расширение кровеносных сосудов, кровоснабжение почек ухудшается; иногда у больных накапливается столько жидкости, что нормальная циркуляция крови становится невозможной.

Еще один побочный эффект NSAID, которым не обладает салицилат натрия, — синдром чувствительности к аспирину у генетически предрасположенных индивидов. Оказалось, что при ингибировании простагландин-синтазы арахидоновая кислота направляется по другому метаболическому пути, ведущему к обра-

зованию ряда соединений, а именно лейкотриенов B_4 , C_4 и D_4 , вызывающих еще большее раздражение, чем продукты, образующиеся при участии простагландин-синтазы.

Наконец, все NSAID и особенно аспирин ухудшают свертываемость крови. Больные, принимающие эти препараты, нередко страдают от трудно останавливаемых кровотечений после удаления зуба, небольшого хирургического вмешательства или травмы. Аспирин подавляет агрегацию тромбоцитов, входящую в процесс свертывания крови; другие NSAID — опять-таки за исключением салицилата натрия — также угнетают функцию тромбоцитов.

Действие NSAID состоит в ингибировании синтеза простагландинов G_2 и H_2 . Последний в тромбоцитах превращается в тромбосан B_2 , обладающий сильным сосудосуживающим эффектом и вызывающим агрегацию тромбоцитов. В то же время в клетках эндотелия, выстилающих кровеносные сосуды, те же интермедиаты синтеза простагландинов используются для образования мощного сосудорасширяющего агента — простагландина I_2 , или простагландина.

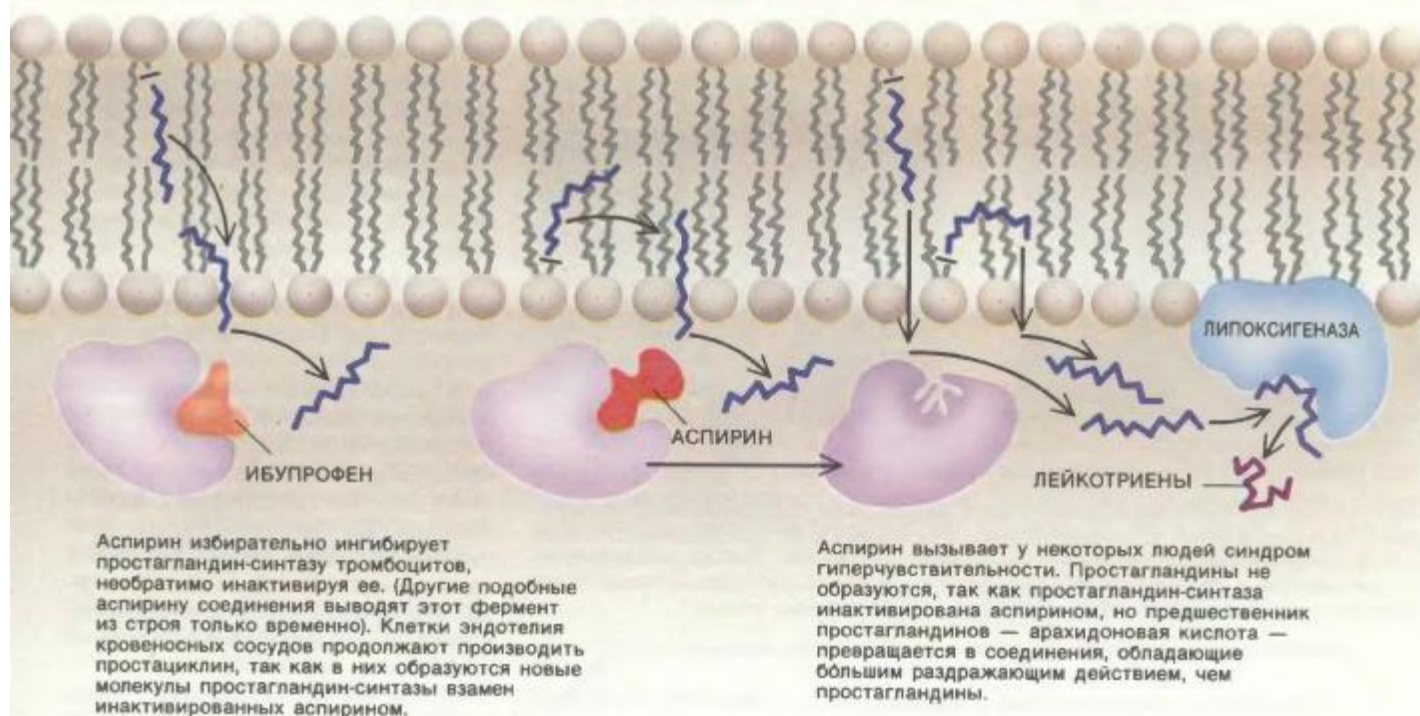
Эти открытия дают основания применять аспирин для предотвращения инсульта и сердечных приступов: определенные дозы могут препятствовать образованию тромбосана, не затрагивая синтез простагландина. Аспирин необратимо инактивирует простагландин H -синтазу. Тромбоциты не способны производить больше этого фермента и, соответственно,

прекращается синтез тромбосана. Однако в клетках эндотелия кровеносных сосудов может образовываться новая синтаза, так что синтез простагландина блокируется только в течение нескольких дней.

Важный факт установили Г. Фитцджеральд и Дж. Оатс из Медицинской школы университета Вандербилта; они показали, что аспирин в дозах менее одной таблетки в день может необратимо блокировать простагландин H -синтазную активность тромбоцитов в воротной вене (собирающей кровь от кишечника и несущей ее через печень), снижая тем самым риск образования опасных тромбов до того, как значительные количества аспирина появятся в общем кровотоке, где они могли бы помешать синтезу простагландина.

Никакое другое из открытий, следанных исходя из гипотезы Вэйна, не имело такого влияния на здоровье людей. Ему обязаны сотни тысяч больных во всем мире, принимающие аспирин для лечения или профилактики инсульта и сердечных приступов.

ПРОСТАГЛАНДИНОВАЯ гипотеза, несомненно, объясняет эффекты очень низких (противодействующих образованию тромбов) и средних (обезболивающих и жаропонижающих) доз аспирина. Правда, были некоторые настораживающие противоречия, но Вэй и его коллеги дали им логичные объяснения. Например, ацетаминофен не препятствует синтезу простагландинов, но является сильным ингибитором проста-



гландин-синтазы, содержащейся в мозге (что, возможно, объясняет его жаропонижающее действие). И хотя неацетилированные салицилаты примерно в 10 раз менее эффективны, чем аспирин, в отношении простагландин-синтазы *in vitro* (это указывает на то, что они, скорее всего, непригодны в качестве обезболивающих средств), изучение метаболизма простагландинов показало, что салицилат натрия действительно может ингибировать синтез простагландинов в организме.

Однако теория Вэйна, согласно которой локальное образование простагландинов приводит к воспалению, имеет только частичное обоснование. Для проявления противовоспалительного эффекта салицилатов требуются гораздо большие их дозы, чем для обезболивающего действия. Из этого противоречия следует, что либо простагландин-синтаза в клетках, обеспечивающих воспалительную реакцию, относительно нечувствительна к аспирину, либо его противовоспалительные свойства при более высоких концентрациях обусловлены иным механизмом действия, чем торможение синтеза простагландинов.

Свойства салицилата натрия и ацетаминофена дают дополнительные указания на то, что клинические эффекты подобных аспирину соединений не связаны с ингибированием синтеза простагландинов. Салицилат натрия обладает многими анальгетическими свойствами аспирина, но не способен ингибировать синтез простагландинов в препаратах разрушенных клеток при тех концентрациях,

которые могут быть достигнуты в организме. Он также не влияет на функции тромбоцитов и не способствует кровотечению. Наиболее широко используемое в настоящее время болеутоляющее и жаропонижающее лекарство — ацетаминофен — также не ингибирует синтез простагландинов, не препятствует свертыванию крови и не снимает воспаление. Повидимому, эффективное облегчение боли и лихорадочного состояния может быть вовсе не связано с торможением синтеза простагландинов.

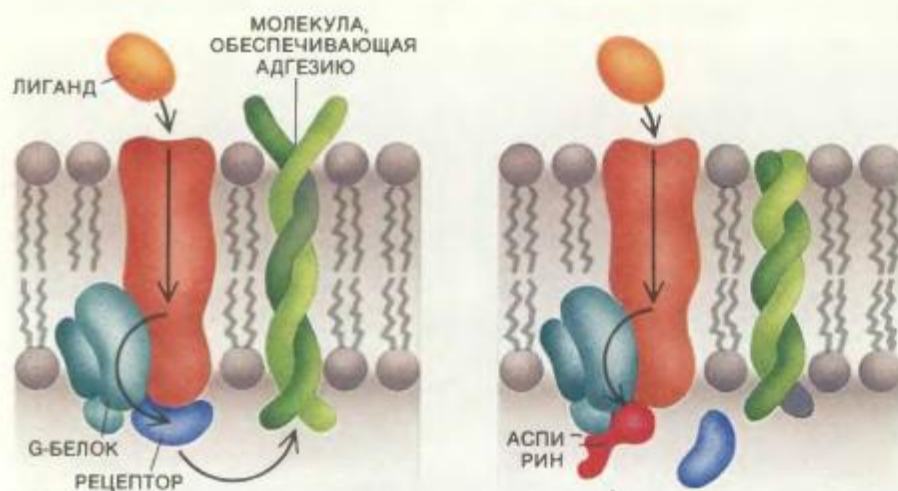
Скорее всего, широкий спектр действия NSAID обусловлен теми их физическими свойствами, благодаря которым они нарушают взаимодействия в биологических мембранах. Молекулы NSAID представляют собой планарные анионы, обладающие сродством к липидной среде, каковой является липидный слой плазматической (окружающей клетку) мембраны. Более того, чем кислее среда (а понижение pH характерно для участков воспаления), тем выше липофильность NSAID. Неудивительно поэтому, что они влияют на многие функции клеток, участвующих в воспалительной реакции.

Например, аспирин влияет на поглощение жирных кислот и их включение в клеточные мембраны в культурах человеческих моноцитов и макрофагов. Салицилаты также подавляют транспорт анионов через различные клеточные мембраны. Наконец, NSAID тормозят метаболизм в костной ткани и ингибируют синтез протеогликанов, которые формиру-

ют матрикс хряща; причем механизм этих эффектов не связан с ингибированием простагландин-синтазы. Последнее обстоятельство не просто подрывает «простагландиную» гипотезу — оно весьма важно в клинической практике.

Исследования, проведенные недавно в моей лаборатории, вскрыли альтернативный механизм действия подобных аспирину препаратов: есть основания полагать, что эти соединения мешают агрегации нейтрофилов в ответ на определенные стимулы. Эти клетки наиболее многочисленны в очагах острого воспаления; они образуют первую линию защиты против проникающих в организм чужеродных агентов (бактерий и др.) и в то же время являются одним из первых факторов поражения тканей при аутоиммунных заболеваниях, например, при ревматоидном артрите. Нейтрофилы повреждают ткани, выделяя протеиназы (ферменты, расщепляющие белки), а также специфические для воспалительной реакции пептиды, активные формы кислорода (O_2^- и H_2O_2) и жирные вещества, обладающие раздражающим действием — фактор активации тромбоцитов и лейкотриен B_4 .

В течение 5 секунд после контакта с соединениями, вызывающими воспалительную реакцию — иммунными комплексами, компонентами системы комплемента (каскада ферментов и биологически активных пептидов, взаимодействующих с антителами и участвующих в инициации иммунного ответа) и другими агентами, называе-



КЛЕТОЧНЫЕ МЕМБРАНЫ являются местом действия аспирина, обуславливающего те его эффекты, которые не имеют отношения к ингибированию синтеза простагландинов. Аспирин мешает передаче химических сигналов через клеточную мембрану, связываясь с G-белком. Это препятствует первой стадии воспаления — адгезии лейкоцитов со стенками кровеносных сосудов.

мыми хемоаттрактантами (поскольку они привлекают нейтрофилы и другие клетки к участку воспаления), — нейтрофил превращается в секреторную клетку, способную вызывать повреждение ткани. Одна из первых стадий процесса повреждения ткани — агрегация нейтрофилов в результате адгезии (слипания) клеток. Благодаря гомотипической адгезии между нейтрофилами и гетеротипической адгезии нейтрофилов со стенками сосудов клетки выходят из кровотока и участвуют в воспалительном процессе.

NSAID и салицилаты в терапевтических концентрациях ингибируют межклеточную адгезию нейтрофилов человека. Близкие концентрации салицилата натрия и аспирина влияют на нейтрофилы одинаково, хотя их действие на простагландин-синтазу значительно различается. Поэтому представляется вероятным, что противовоспалительный эффект обусловлен способностью этих соединений подавлять гомотипическую и гетеротипическую адгезию нейтрофилов, а не влиянием на простагландин-синтазу.

Об ингибирующем действии NSAID на активность нейтрофилов свидетельствуют также клинические наблюдения. Функции нейтрофилов, взятых у пациентов, получавших терапевтические дозы индометацина, пироксикама или ибупрофена, значительно ослаблены. У больных ревматоидным артритом через 10 дней лечения пироксикамом нейтрофилы из синовиальной жидкости суставов производят меньше супероксид-аниона (эта ионная форма молекулярного кислорода очень реакционноспособна и повреждает клетки). У здоровых до-

бровольцев, принимавших ибупрофен и пироксикам в течение 3 дней, нейтрофилы утрачивали способность к нормальной агрегации в ответ на хемоаттрактанты.

Все NSAID подавляют гомотипическую адгезию нейтрофилов, но различаются по своему влиянию на другие функции этих клеток. Так, пироксикам ингибирует образование супероксид-аниона нейтрофилами, инкубируемыми в присутствии хемоаттрактантов, ибупрофен же таким действием не обладает. Пироксикам и индометацин ингибируют образование супероксид-аниона также в препаратах разрушенных клеток, а салицилат натрия, ибупрофен и меклофенамат — нет.

ГИПОТЕЗА Вэйна еще более сдвинула свои позиции в свете полученных в ряде лабораторий (в том числе в моей) данных о том, что стабильные простагландины E_1 , E_2 и I_2 могут не только способствовать воспалительной реакции, но и оказывать противовоспалительное действие. Как показали Р. Зурьер из Медицинской школы Пенсильванского университета и другие исследователи, стабильные простагландины в высоких дозах подавляют воспалительный процесс у животных, больных артритом, а много меньшие дозы снимают воспаление, вызванное локальным раздражением кожи. Еще в начале 1970-х годов выяснилось, что простагландины типа E , а также I_2 подавляют активацию *in vitro* не только тромбоцитов, но и участвующих в воспалении клеток, таких как нейтрофилы, моноциты и макрофаги.

Парадоксально, что как NSAID,

так и простагландины типа E оказывают одинаковое тормозящее действие на активацию нейтрофилов и тромбоцитов. Добавление пироксикама к нейтрофилам человека, предварительно инкубированных с хемоаттрактантами, может приводить к снижению производства супероксид-аниона примерно на 40%. Однако добавление простагландинов E_1 или E_2 в концентрациях 10^{-9} — 10^{-6} М не снимает торможения, вызванного пироксикамом, как можно было бы ожидать исходя из того, что простагландины способствуют воспалению; наблюдается, напротив, ослабление образования супероксид-аниона еще на 40%. Недавно проведенные исследования действия производного простагландина E_1 , называемого мисопро-стом, который весьма полезен в клинической практике, также показали, что между NSAID и простагландинами имеет место синергизм, а не антагонизм.

NSAID и простагландины также сходно влияют на образование таких вторичных посредников как кальций и циклический аденозинмонофосфат (сAMP), участвующие в передаче сигналов в клетке. Эффект повышения внутриклеточной концентрации кальция в нейтрофилах человека, вызываемый хемоаттрактантами, ослабляется как индометацином, так и в результате предварительной обработки клеток простагландином E_2 . Повышение уровня сAMP в нейтрофилах под действием хемоаттрактантов незначительно для того, чтобы обеспечить их эффект. Но простагландины сильнее увеличивают внутриклеточную концентрацию сAMP, что противодействует процессу активации клетки. NSAID тоже усиливают эффект повышения уровня сAMP внутри клеток под действием хемоаттрактантов.

Некоторые эффекты NSAID обусловлены их влиянием на связывание клетками хемоаттрактантов и других стимулирующих агентов. Эти препараты блокируют связывание по крайней мере некоторых таких лигандов с их рецепторами в клеточной мембране, тогда как ацетаминофен, не способный подавлять агрегацию клеток, не влияет и на связывание лигандов.

Влияние NSAID на связывание хемоаттрактантов, однако, недостаточно для объяснения их действия на нейтрофилы. NSAID подавляют активацию клеток в ответ на такие лиганды, как пептид $C5a$ (являющийся хемоаттрактантом), фактор активации тромбоцитов и лейкотриен B_4 , связывание которых они не затрагивают. NSAID подавляет активацию в ответ и на другие стимулы. Н. Перес

из Калифорнийского университета в Сан-Франциско показал, что меклофенат, например, подавляет функции нейтрофилов, индуцируемые CS_2 , но не влияет на связывание радиоактивно меченного CS_2 .

Так как NSAID представляют собой жирорастворимые кислоты, можно ожидать, что они могут влиять на процессы в мембранах, зависящие от общей подвижности мембранных липидов. Салицилаты в низкой концентрации — порядка $10^{-4}M$ — уменьшают вязкость клеточной мембраны нейтрофилов, а пироксикам и индометацин в концентрациях 10^{-5} и $5 \cdot 10^{-5} M$ соответственно увеличивают вязкость. Болеутоляющий препарат ацетаминофен не влияет ни на вязкость клеточной мембраны, ни на передачу через нее химических сигналов.

Исследования на очищенных мембранных препаратах и на интактных нейтрофилах показали, что NSAID влияют на те функции, которые зависят от так называемых G-белков, участвующих в передаче сигналов через клеточные мембраны. Первые доказательства этого были получены в экспериментах, в которых клетки подвергались воздействию коклюшного токсина. Это вещество нарушает передачу сигнала в различных клетках, включая нейтрофилы, путем изменения определенных G-белков в плазматической мембране. После воздействия коклюшного токсина в нейтрофилах падает образование супероксид-аниона, вызываемое хемоаттрактантами.

Салицилат натрия сходно подавляет образование супероксид-аниона, хотя его эффект слабее. Однако после инкубации одновременно и с коклюшным токсином, и с салицилатом натрия клетки восстанавливают свою способность производить супероксид-анион, блокированную токсином. Этот парадоксальный эффект свидетельствует о том, что салицилат мешает действию коклюшного токсина на уровне G-белка; следовательно, салицилаты также должны взаимодействовать с G-белком в клеточной мембране.

Кроме того, салицилаты и такие NSAID, как пироксикам и индометацин, блокируют индуцируемое коклюшным токсином изменение G-белка в препаратах очищенных мембран нейтрофилов. Салицилаты и пироксикам частично подавляют ряд других чувствительных к коклюшному токсину процессов, сопровождающих активацию клеток.

Последним ударом по «простагландиновой» гипотезе стали данные об одном из наиболее примитивных и древних существ — морской губке *Microciona prolifera*. Это животное, произошедшее более миллиарда лет назад, явилось уникальной моделью для исследования противовоспалительного действия NSAID.

На активацию клеток губки в процессе их агрегации стабильные простагландины не влияют, и эти клетки не содержат ферменты, которые могли бы синтезировать простагландины. Тем не менее NSAID (но не ацетаминофен) подавляют агрегацию клеток *Microciona prolifera* точно так же, как нейтрофилов. Отдельные клетки губки агрегируют в ответ на видоспецифичное химическое вещество с молекулярной массой около 20 млн. дальтон, обозначаемое MAF. NSAID

подавляют агрегацию клеток *Microciona prolifera* в ответ на MAF в тех же концентрациях, в которых они действуют на агрегацию нейтрофилов. Так как морские губки неспособны к синтезу простагландинов, ясно, что этот эффект NSAID, как и их действие у насекомых, растений и человека, вряд ли связаны с ингибированием синтеза простагландинов.

«Простагландинная» гипотеза Вэйна частично объясняет биологические эффекты аспирина и подобных ему препаратов, но еще многое остается неясным в молекулярных механизмах воздействия этих соединений на клетки. Тем не менее знаменательно, что их изучение уже выявило некоторые биохимические пути, общие для живых организмов, разделенных миллиардами лет эволюции.

Книги издательства „Мир“

ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Теория и приложения
В 2-х книгах
Перевод с английского
Под ред. Х. АСРАПА

В коллективной монографии специалистов США рассмотрены практически все составные части проблемы дистанционного зондирования. Она ориентирована на вопросы взаимодействия излучения с атмосферой и земной поверхностью и развитие инструментальной базы соответствующих исследований. В книге 1 рассматриваются полевые эксперименты, теории переноса излучения, математическая постановка задачи восстановления параметров состояния почв и растительности, а также методы измерения спектральной отражательной способности. В книге 2 рассматриваются атмосферная коррекция дан-

ных дистанционного зондирования, приложения разработанных методов к исследованиям лесных экосистем, прибрежных зон и геологических образований, количественные характеристики оценки данных дистанционных измерений в инфракрасной области спектра с точки зрения изучения баланса энергии на земной поверхности, эвапотранспирации растительности и углеродного обмена для различных экосистем Земли.

Для специалистов в области геофизики, биологии, агрометеорологии, почвоведения, экологии и др., а также для студентов соответствующих специальностей.

Заказы на книгу будут приниматься в магазинах научно-технической книги после поступления тематического плана издательства на 1992 г. в апреле-мае 1991 г.



ВСЕ ЭТИ эффекты NSAID никак не связаны с синтезом простаглан-

Козволюция кукушки и ее хозяев

Кукушки размножаются за счет других птиц, подкладывая в их гнезда свои яйца. Такая стратегия вызывает эволюционную «гонку вооружений» между паразитом и его хозяином

НИКОЛАС Б. ДЕЙВИС, МАЙКЛ БРУК

ЛЕТОМ одно из самых любопытных зрелищ для натуралиста — увидеть, как маленькая птичка кормит молодого кукушонка (*Cuculus canorus*). Выросший птенец уже с трудом умещается в крохотном гнездышке, и кажется, что он способен проглотить маленькую птичку, когда она наклоняется с пищей слишком низко над его огромным ртом. Когда же кукушонок покидает гнездо, ситуация становится еще более курьезной: чтобы достать до рта слетка, вес которого в восемь раз превышает «родительский», птичке приходится присаживаться ему на спину.

Хотя паразитические привычки кукушек известны по меньшей мере со времен Аристотеля, который описал их 2300 лет назад, только недавно биологи предприняли детальное исследование того, каким образом кукушки заставляют хозяев гнезд выращивать свое потомство. Паразитизм кукушек в эволюционном смысле дорого обходится их хозяевам, поскольку, хотя кукушка откладывает в гнездо только одно яйцо, вылупившийся птенец уничтожает яйца или птенцов хозяев и становится единственным обитателем гнезда.

В том случае, если хозяева не получают «компенсаций» за свои усилия по выкармливанию кукушек, естественный отбор будет благоприятствовать адаптациям, помогающим хозяевам избежать кормления кукушонка. В свою очередь эволюционное развитие таких адаптаций будет способствовать отбору на большую изобретательность паразита. В результате возникает эволюционная «гонка вооружений» между кукушкой и хозяином, ведущая ко все более сложным адаптациям и контрадаптациям.

В ходе повествования мы часто будем обращаться к фразам, которые, как может показаться, указывают на то, что эволюция включает планирование стратегии и контрстратегии,

поиск выгоды, избегание платы. Такие фразы следует воспринимать не более как метафоры. В естественном отборе нет «злого умысла»; он заключается в благоприятствовании размножению особей, обладающих благоприятными наследуемыми признаками.

Многие признаки живых организмов представляют собой результат козволюции, то есть процесса так называемого реципрокного взаимодействия с другой группой, при котором каждая сторона адаптируется к давлению отбора другой стороны. Некоторые примеры козволюции мутуалистичны, т. е. выгоду получают обе стороны. Так многие ягоды осенью краснеют, «сигнализируя» птицам, что их уже можно съесть. Птицы при этом получают пищу и разносят семена; растения таким образом заселяют новые места. В других же случаях, таких как взаимоотношения кукушки и ее хозяев, или хищников и их жертв, одна сторона получает выгоду, а другая проигрывает. Взаимосвязи между кукушками и их хозяевами привлекли нас не только как интересный факт естествознания, заслуживающий изучения, но и как замечательная возможность изучения козволюции посредством постановки полевых экспериментов.

В Великобритании кукушки паразитируют на четырех видах хозяев: луговом коньке (*Anthus pratensis*), гнездящемся на вересковых пустошах, тростниковой камышовке (*Acrocephalus scirpaceus*), обитающей на заболоченных участках, лесной завирушке (*Prunella modularis*), живущей в лесах и на фермах, и на белой трясогузке (*Motacilla alba*), которую можно встретить на равнинных пространствах. Конкретные самки кукушек, по видимому, специализированы к определенным видам хозяев. В Великобритании можно выделить четыре генетических линии самок кукушек, называемые «генетическими расами».

Самки каждой «расы» откладывают яйца определенного типа. «Коньковые кукушки» откладывают коричневые яйца, похожие внешне на яйца лугового конька. Кукушки, паразитирующие на тростниковой камышовке, откладывают зеленоватые яйца, имитирующие зеленоватые яйца камышовки. У «трясогузковых кукушек» яйца бледно-серые, как и у их хозяев. Исключение представляют «завирушковые кукушки», чьи бледные в крапинку яйца заметно отличаются от однотонных голубовато-зеленых яиц завирушки. По данным Британского орнитологического общества за последние 50 лет в Великобритании в целом пропорция гнезд, в которые откладывают яйца кукушки, составляет 2,7% для луговых коньков, 5,5% для тростниковой камышовки, 0,4% для белой трясогузки и 1,9% для лесной завирушки.

МЫ ПЫТАЛИСЬ ответить на два вопроса: во-первых, как кукушка обманывает хозяина, и, во-вторых, как естественный отбор приспособляет поведение хозяина к встрече подкидыша. Чтобы найти ответ на первый вопрос, мы провели тщательные наблюдения за тростниковыми камышовками на Уиккен-Фен, одной из немногих сохранившихся заболоченных низин около Кембриджа.

Тростниковые камышовки начинают строительство гнезда в конце мая, подвешивая его над водой между вертикальными стеблями камыша. Мы обследовали во время яйцекладки 274 гнезда и обнаружили, что в 44 из них (16%) были отложены яйца кукушек. В восьми случаях камышовки отверг-

КУКУШОНОК-ПОДКИДЫШ, выкармливаемый своим хозяином — лесной завирушкой. Завирушка не отличает чужака от своих птенцов, которых вылупившийся кукушонок вскоре выбрасывает из гнезда.

ли яйца кукушек, либо выбросив их из гнезда (4 случая), либо бросив целиком всю кладку (4 случая). Таким образом, в большинстве случаев обман удавался, хотя хозяева иногда протесовали.

Поведение кукушки по обману хозяина включает такие элементы, как разведка, подкрадывание, неожиданность и быстрота. Этот маневр был описан 70 лет назад английским орнитологом Э. Чансом в работе по кукушкам, паразитирующим на луговом коньке. Недавно Я. Уилли своими исследованиями на Монкской главной опытной станции в Хантингтоне выявил аналогичное поведение для кукушек, подкладывающих яйца в гнезда тростниковой камышовки.

Обычно самка кукушки находит гнездо, подсматривая за строительной деятельностью хозяев. Несколько днями позже, во время яйцекладки, она подкладывает в гнездо свое яйцо; обычно это происходит во второй половине дня. Перед тем как отложить яйцо, она тихо сидит где-нибудь неподалеку, иногда в течение часа и дольше, дожидаясь момента, когда оба хозяина отлучатся из гнез-

да. Тогда она внезапно соскальзывает к гнезду, хватая одно из яиц хозяев, иногда несколько, откладывает в гнезде свое собственное и улетает, унося в клюве хозяйское яйцо. Вся операция занимает менее 10 секунд, и трудно поверить, что за такое короткое время кукушка успевает отложить яйцо. Тем не менее, подойдя к гнезду, можно убедиться, что яйцо кукушки действительно лежит среди яиц хозяев, похожее на них по цвету и форме и отличающееся только чуть большей величиной.

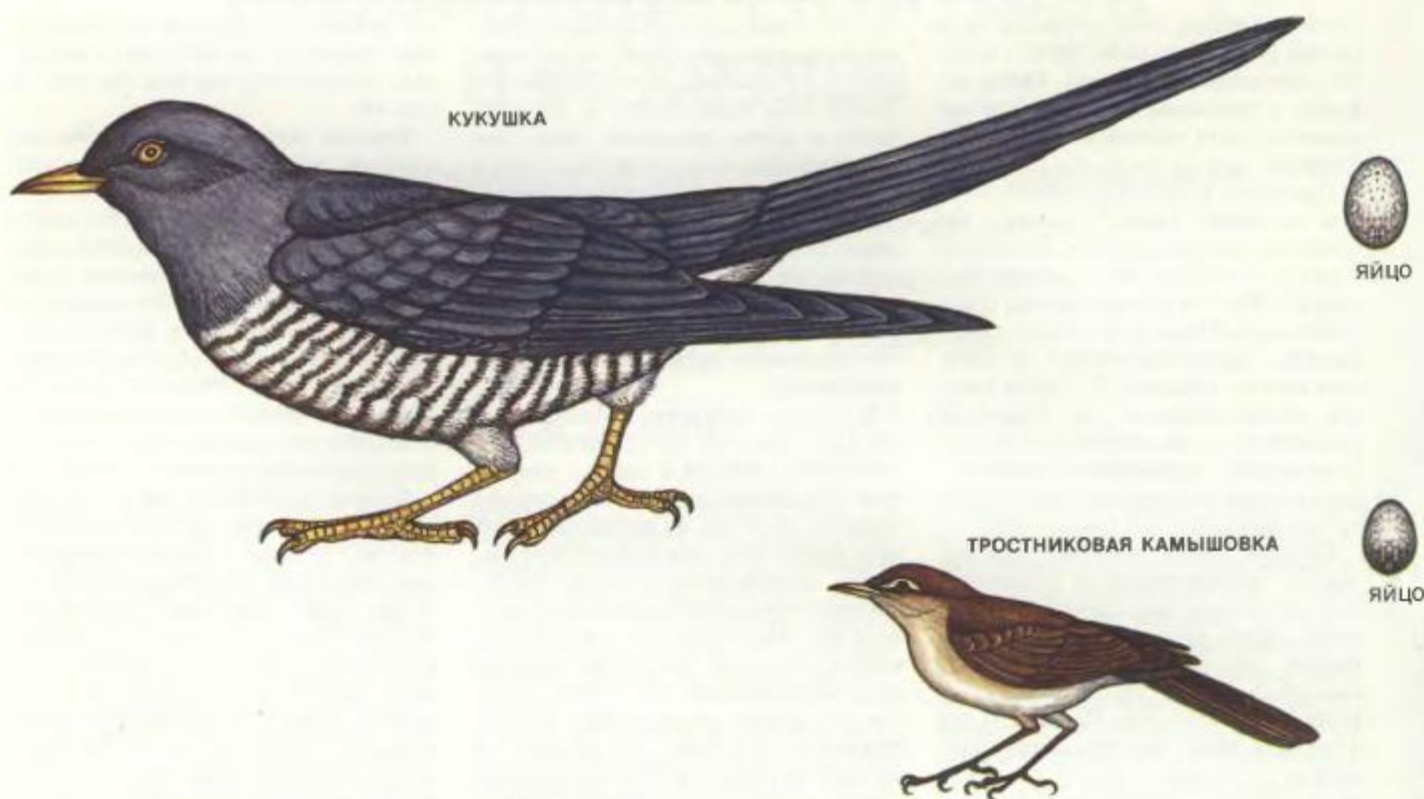
Чтобы исследовать, в какой степени естественный отбор формирует поведение кукушки в связи с защитным поведением хозяев, мы воспользовались простой, но результативной методикой: мы сами играли роль кукушек, подкладывая в гнезда тростниковых камышовок различные модели яиц. Наша идея состояла в том, чтобы варьируя элементы «операции» подкидывания яиц, проследить, как это влияет на поведение хозяев. Искусственные яйца, по размеру и по весу в точности соответствовавшие настоящим яйцам кукушек, были сделаны из канифоли и раскраше-

ны различным образом в соответствии с окраской яиц кукушек из различных генетических рас (см. рисунок на стр. 64).

Вначале мы копировали действия кукушек, вынимая одно яйцо из гнезда тростниковой камышовки во второй половине дня и заменяя его на модель яйца кукушки. Камышовки приняли все модели яиц, которые напоминали по цвету их собственные, но отвергли две трети тех, которые были на них непохожи, обычно выталкивая их из гнезда. Таким образом понятно, что дискриминация хозяевами необычно выглядящих яиц вела к отбору миметических яиц кукушек.

Однако дискриминация со стороны хозяев, возможно, не единственный фактор отбора, благоприятствующий эволюции миметических яиц кукушек: может иметь место также дискриминация со стороны паразитов. Из 44 гнезд, на которых паразитировали кукушки, после первого отложенного яйца 6 гнезд посетили другие кукушки и также отложили яйца. (Мы могли отличить одно яйцо от другого, так как разные самки откладывают яйца несколько различной окра-





ски.) Следовало ожидать, что вторая кукушка удалит из гнезда яйцо первой кукушки, потому что из того яйца, которое было отложено первым, птенец вылупится раньше и затем уничтожит все другие яйца. И в самом деле, некоторые кукушки посещали гнезда, в которые мы отложили модельные яйца, и они действительно пытались удалить модельное яйцо, если оно отличалось по цвету от яиц хозяев. Таким образом, и дискриминация со стороны самих кукушек может играть роль в эволюции мимикрии яиц.

Для того чтобы проверить, вызваны ли и другие элементы поведения кукушки необходимостью обмануть бдительность хозяев, мы воспользовались миметическими моделями яиц и соответственно варьировали каждую из частей операции подбрасывания яйца. Когда модель помещали в гнездо на рассвете, во время периода откладки яиц хозяевами, камышовки часто ее отвергали. Следовательно, подбрасывание яйца во второй половине дня — важное условие в поведении кукушки, так как в это время камышовки реже бывают около гнезда. Отвергались камышовками все без исключения яйца, которые были подложены в гнездо раньше, чем они сами начинали яйцекладку, следовательно, по-видимому, они придерживаются правила: «любое яйцо, появившееся в гнезде раньше, чем мы начали яйцекладку, нашим быть не может».

Этим объясняется, почему кукушки дожидаются начала яйцекладки хозяев, прежде чем попытаться подкинуть в их гнездо свое яйцо.

БЫСТРОТА откладки яйца также очень важна. Когда мы в своих опытах помещали в гнезда камышовок чучело кукушки, которое имитировало самку, медленно откладывающую яйцо, камышовки яростно ее атаковали и в этом случае вероятность отторжения модельного яйца была наибольшей, даже если яйцо было очень похоже на остальные яйца в гнезде. И наконец, имеет значение также размер яйца кукушки, которое хотя и немного крупнее яиц хозяев, все же чрезвычайно мало для птиц размером с кукушку. Обычно у птиц такого размера яйца примерно в три раза тяжелее. Но когда мы помещали такие гигантские модели в гнезда камышовок, последние очень часто их отвергали, даже если они были раскрашены так же, как яйца камышовок. Кроме того, поведенческая дискриминация со стороны хозяев, по-видимому, не единственный фактор отбора, благоприятствующий уменьшению размеров яиц кукушек — маленьким хозяевам, возможно, просто трудно высидывать их достаточно эффективно.

Все перечисленные здесь элементы стратегии, используемой кукушками, представляют собой адаптации, повышающие вероятность того, что их

яйца будут приняты хозяевами. Один из этих элементов, однако, никак не связан с защитными реакциями хозяев, а именно: обыкновение кукушек изымать одно из яиц в кладке, прежде чем отложить свое собственное. Как показали результаты наших экспериментов, камышовки принимают все



НАБЛЮДЕНИЕ за гнездом хозяев (тростниковой камышовки) — первая стадия операции подбрасывания яйца.



СЛЕТОК КУКУШКИ

СЛЕТОК
ТРОСТНИКОВОЙ
КАМЫШОВКИ

миметические модели, а у немиметических моделей одинаковые шансы быть отвергнутыми независимо от того, было ли перед этим изъято яйцо хозяев или нет. Таким образом, хозяев не настораживает наличие одного дополнительного яйца в кладке.

Кукушка, изымая яйцо из кладки,

КУКУШКА ПОХОДИТ на своего хозяина только на стадии инкубации, но не на стадии птенца. Рисунок в половину натуральной величины.

по всей видимости, преследует две цели: она повышает эффективность инкубации своего яйца и, кроме того, получает «бесплатную» пищу. Но почему же тогда она не изымает все яйца хозяев и не получает тем самым еще больше пищи? Ответ опять же заключается в реакции хозяев: когда число яиц в кладке тростниковых камышовок уменьшается слишком резко, они ее бросают. И хотя хозяева всегда бросают кладку, если в ней осталось единственное яйцо, они обязательно подолжают заботиться о единственном оставшемся в живых птенце. Это объясняет, почему именно кукушонку, а не его матери, выпадает задача освободить гнездо от всего, что там находится. Если эту работу выполнит птенец, то никакая расплата ему не угрожает.

Тростниковые камышовки быстро замечают и отвергают чужие яйца, непохожие на их собственные, но удивительно терпимы к чужим птенцам. Нет никаких свидетельств, чтобы хозяева когда-либо отвергали кукушат, хотя розовое тело и ярко оранжевый зев только что вылупившегося кукушонка совсем не похожи на черную кожу и желтый зев с пятнистым языком птенцов камышовки. Возможно, приемные родители не отвер-

гают кукушат, поскольку им никогда не приходится сравнивать их со своими птенцами — кукушонок это предупреждает, вылупляясь первым (инкубация у него короче) и избавляясь от своих конкурентов.

Мы проверили это предположение, давая камышовкам возможность сравнить кукушонка со своими собственными птенцами. Для этого мы связали вместе бортник к бортнику два гнезда, в одном из которых находился кукушонок, а в другом — птенец тростниковой камышовки. Поставленные перед таким выбором, хозяева начинали кормить обоих птенцов. Этот эксперимент не только подтвердил, что тростниковые камышовки не предпочитают своих птенцов кукушатам даже когда имеют возможность выбора, но показал, что крупный птенец кукушки даже привлекательнее для своих хозяев, чем их собственные птенцы. Более того, последующие эксперименты подтвердили, что камышовки принимают также и иначе выглядящих птенцов других видов (к примеру, птенцов камышовой овсянки, *Emberiza schoeniclus*), подсаженных к их собственным птенцам. Все это говорит о том, что на стадии кормления птенца камышовки не делают различий между своими и чужими, следовательно, отсутствует давление отбора, которое благоприятствовало бы появлению у кукушек миметических птенцов.

Но почему же хозяева не различают птенцов? Возможно, дело в том, что



ВТОРЖЕНИЕ происходит в отсутствие хозяев. Кукушка крадет одно яйцо хозяев и затем откладывает свое.



ОТЛЕТ на безопасное расстояние от места преступления. С момента начала вторжения прошло менее 10 с.



УКРАДЕННОЕ ЯЙЦО на завтрак — одна из многих бесплатных трапез, которые обречены поставлять хозяева.



МИМИКРИЯ по размеру и цвету яиц кукушек и их хозяев; яйца изображены приблизительно в натуральную величину. Все виды, кроме дроздовидной камышовки и кукушки, которая паразитирует на ней, принадлежат к популяциям Великобритании. Яйца кукушек лишь чуть-чуть крупнее, чем те, которые они имитируют, хотя сами кукушки по весу более чем вдвое тяжелее своих хозяев.

при различении птенцов велика вероятность ошибки, так как с каждым днем с ними происходят чрезвычайно резкие изменения. Кроме того, распознавание птенцов имеет меньше селективных преимуществ по сравнению с распознаванием яиц, так как хозяин, узнавший яйцо паразита, еще может спасти собственный выводок, а на стадии птенца это уже, как правило, слишком поздно. Тем не менее такое неузнавание чужих птенцов удивительно, потому что у хозяев некоторых других гнездовых паразитов, у которых птенец паразита растет вместе с птенцами хозяев (таких как вдовушки, *Vidua*, паразитирующие на астрильдовых выюрах), птенцы паразита очень похожи на птенцов хозяина (см. "Scientific American", October 1974, "Mimicry in Parasitic Birds" by Jürgen Nicolai). Такие наблюдения позволяют предположить, что у некоторых видов хозяев существует также дискриминация птенцов.

ПТЕНЕЦ кукушки питается той же самой пищей, какую тростниковые камышовки приносят выводку своих собственных птенцов: различными мухами, клопами, гусеницами, и другими членистоногими. Пищу он потребляет примерно столько же сколько средний выводок тростниковых камышовок (три или четыре птенца); таким образом, он адаптирован к тому уровню кормления, который способен ему обеспечить хозяин.

Самки кукушек защищают свои

территории, на которых они откладывают в среднем восемь яиц в год. Яйца откладываются в разные дни, обычно двумя партиями, с перерывом на отдых в несколько дней. Если гнезд излюбленного хозяина не имеется в достаточном количестве, самка может подкладывать яйца другим видам хозяев. Так, иногда кукушки, паразитирующие на тростниковой камышовке, подкладывают яйца в гнезда камышовки-барсучка (*Acrocephalus schoenobaenus*). Известно также, что кукушки грабят гнезда, которые находятся на стадии инкубации или стадии птенца, слишком поздних для попытки паразитизма. Такое нападение ставит хозяев перед необходимостью начать новую кладку и, таким образом, увеличивает число удобных для паразитирования гнезд.

Мы догадывались, что именно кукушки виноваты в большинстве случаев хищничества в гнездах тростниковых камышовок в Уиккен-Фен. Во-первых, многие кладки были изъяты без какого-либо явного разрушения гнезда, что обычно делают крупные пернатые хищники, такие как вороны; во-вторых, большинство гнезд находилось над водой и, скорее всего, было недоступно для наземных хищников. Если кукушки сами хищничают в гнездах тростниковых камышовок, они несомненно, должны помнить местоположения гнезд, на которых они паразитируют, и оставлять их нетронутыми. Мы предположили, что если кукушка сама и есть главный хищник, то гнезда, в которых нахо-

дятся яйца кукушек, должны в среднем меньше страдать от хищничества. Полученные нами данные подтвердили это предположение: только 22% гнезд с яйцами кукушек пострадали от хищничества на стадии яйца по сравнению с 41% гнезд без яиц кукушек.

Затем мы перешли к изучению трех других основных хозяев кукушек в Великобритании. Так же как и тростниковые камышовки, луговые коньки и белые трясогузки отвергали модельные яйца, отличавшиеся от их собственных по окраске, и с большей вероятностью принимали похожие на них модели яиц кукушек из соответствующих генетических рас. Таким образом, дискриминация со стороны хозяев ведет к отбору миметических яиц у коньковых и трясогузковых рас кукушек.

КАКИМ ЖЕ образом можно объяснить полное отсутствие мимикрии у завирушковых кукушек? Как заметил Гилберт Уайт в своей книге "Natural History and Antiquities of Selborn" (1770): «Вполне понятным... будет ваше удивление, что лесная завирушка вообще станет высидывать яйцо кукушки, не возмущившись его крупными размерами. Но для низкоорганизованного животного, я полагаю, размер, цвет или количество значат мало».

Наши эксперименты хорошо объясняют, почему у «завирушковых кукушек» немиметические яйца: у них в этом просто нет необходимости, потому что лесные завирушки принимают яйца любого цвета. Мы предположили, что это происходит вследствие «цветовой слепоты» завирушек, но оказалось, что они принимают даже абсолютно черные и белые модели. Более того, завирушки принимали не только одно необычное яйцо, но даже целую кладку таких яиц. Эти выводы, однако, не объясняют, почему «завирушковые кукушки» все же откладывают яйца определенного типа, промежуточного по яркости окраски между яйцами кукушек, паразитирующих на тростниковой камышовке и белой трясогузке, и почему окраска этих яиц варьирует не более, чем у других рас кукушек.

Один из возможных вариантов ответа состоит в том, что дочерние особи откладывают тот же тип яиц, что и материнские, так что самка кукушки, вылупившаяся, скажем, из зеленоватого яйца, по всей вероятности, будет откладывать зеленоватые яйца. При этом перед кукушкой стоит проблема правильного выбора хозяина, в данном случае тростниковой камышовки, у которой как раз такие яйца. Возможное объяснение состоит в

том, что кукушонок запоминает хозяина, который его выращивает, и затем, когда вырастает, выбирает объектом для паразитирования именно этот вид хозяина. Таким образом, запоминание гарантирует, что сходство яиц кукушки и ее хозяев будет сохраняться в течение многих поколений. В настоящее время мы проверяем это предположение, пересаживая только что вылупившихся птенцов одной расы в гнезда видов, на которых обычно паразитируют другие расы кукушек, чтобы выяснить, будут ли подмененные кукушата, когда вырастут, предпочитать паразитировать на новых видах хозяев.

Если своих хозяев запоминают и самцы, и самки кукушек, то следовало бы ожидать, что в Великобритании обитают четыре генетически различные расы кукушек. Однако между кукушками нет достаточных различий, чтобы поддержать эту точку зрения. Если же способностью запоминать обладают только самки, то существуют четыре отдельные линии самок, и скрещивания их с разными самцами будут поддерживать единство вида. Согласно такому сценарию, расы должны различаться по наследуемой по материнской линии ДНК митохондрий (внутриклеточных органелл, участвующих в энергетическом метаболизме), а не по ДНК ядра, которая наследуется обоими родителями. Сейчас мы совместно с Л. Гиббс из Королевского университета (пров. Онтарио, Канада) изучаем генетические различия между расами.

Теперь мы можем перейти к рассмотрению второго из двух поставленных вначале вопросов, а именно, как эволюционирует хозяин в ответ на паразитизм кукушек? Развивалась ли дискриминация яиц у тростниковых камышовок, луговых коньков и белых трясогузок как специфический ответ на паразитизм кукушек? Если это так, то может ли отсутствие такой дискриминации у лесной завирушки означать, что этот вид стал жертвой паразитизма относительно недавно, не успев еще сформировать контрадаптации к новому фактору отбора?

Мы искали ответ на этот вопрос, сравнивая реакции на модели яиц кукушек у различных видов воробьиных (певчих птиц, составляющих более половины всех ныне существующих видов птиц). Сначала мы изучили виды, удобные для кукушки в качестве хозяев, т. е. такие, у которых гнезда открытые, доступные для откладки яйца самкой кукушки, и которые выкармливают птенцов беспозвоночными, принося их птенцам в клюве. Оказалось, что эти виды в разной степени отвергают модельные яйца, непохо-

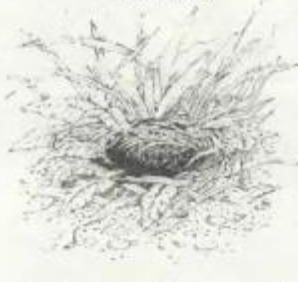


ДИСКРИМИНАЦИЯ подкинутых яиц зависит от того, насколько состав пищи хозяев и устройство гнезда устраивает кукушек, которые питаются беспозвоночными и предпочитают открытые гнезда. У видов с именно таким образом жизни наблюдается тенденция отвергать чужие яйца. Виды, которые питаются семенами или гнездятся в дуплах, принимают любые яйца. Это подтверждает, что дискриминация чужих яиц у хозяев развивается в ответ на паразитизм кукушек.



ПТЕНЕЦ кукушки в гнезде тростниковой камышовки, еще слепой, закатывает яйца хозяев себе на спину и выбрасывает их одно за другим из гнезда, оставаясь в нем единственным обитателем.

«УДОБНЫЕ» ГНЕЗДА

ГНЕЗДО ТРОСТНИКОВОЙ
КАМЫШОВКИГНЕЗДО ЛЕСНОЙ
ЗАВИРУШКИГНЕЗДО ЛУГОВОГО
КОНЬКАГНЕЗДО ДРОЗДОВИДНОЙ
КАМЫШОВКИ

«НЕУДОБНЫЕ» ГНЕЗДА

ГНЕЗДО КАМЕНКИ

ГНЕЗДО
ЛАЗОРЕВКИ

гузок составляет отдельный подви́д), которые не сталкивались с паразитизмом кукушек. Итак, мы привезли модели яиц в Исландию.

Поскольку плотность размножающихся популяций в Исландии низка, нам пришлось немало потрудиться, чтобы обнаружить гнезда, но эти усилия были вознаграждены сторицей полученными результатами. И коньки, и белые трясогузки в значительно меньшей степени отвергали модельные яйца, чем птицы этих же видов из популяций Великобритании, подвергающиеся паразитизму кукушек. Тем не менее они отвергали некоторые модели яиц чистой голубой окраски, и в отличие от неудобных для кукушки хозяев, были не столь наивны. Возможно, исландские популяции произошли от подвергавшихся паразитизму популяций из других частей Европы, и дискриминация чужих яиц сохранилась у них в некоторой степени от их предков.

ЭКСПЕРИМЕНТЫ с моделями яиц позволили нам воссоздать следующие вероятные стадии «гонки вооружений» между кукушкой и ее хозяевами: сначала вид не отвергает чужие яйца совсем либо отвергает их слабо. Затем паразитизм кукушек оказывается фактором отбора, способствующим дискриминации хозяевами яиц, не похожих на их собственные. Эта дискриминация со стороны хозяев ведет к отбору на миметические яйца у кукушек, что в свою очередь приводит к отбору среди птиц-хозяев на лучшее распознавание миметических яиц, а большая избирательность хозяев приводит к еще более точной мимикрии. Мы считаем, что различные степени дискриминации и различные степени мимикрии яиц у разных видов хозяев и в различных расах кукушек отражают различные стадии в этой «гонке вооружений».

Лесные завирушки с их полным отсутствием дискриминации представляют собой самую раннюю стадию — раннюю на эволюционной временной шкале. Еще 385 лет назад Шекспир в «Короле Лире» упоминал о паразитизме, от которого страдают лесные завирушки (акт I, сцена 4). Шут предостерегает Лира, что его дочери могут его же и погубить, подобно тому, как «кукушка воробью пробила темя за то, что он кормил ее все время». Более раннее упоминание о паразитизме кукушек мы находим в пьесе английского поэта Дж. Чосера «Птичий парламент» (~ 1382 г.), где «кукушке выпадает кара за то, что она убила воробья на той же самой ветке, где он ее вскормил». (В переводах лесная завирушка названа воробьем. — *Ред.*)

ЯЙЦО КУКУШКИ заметно отличается от остальных яиц в кладке песчаных завирушек, хотя завирушки и принимают его как свое собственное. Такая слабая мимикрия паразита и плохое различение чужих яиц хозяином свидетельствует о недавних эволюционных связях между ними. Эту гипотезу подтверждает воссоздание экологической истории Британских островов.

жие на их собственные. Некоторые из них, такие как камышовая овсянка и серая мухоловка (*Muscicapa striata*), были даже более разборчивы, чем обычные хозяева кукушки. Такая разборчивость может быть связана с эволюционным прошлым этих видов; к этому вопросу мы вскоре вернемся.

МЫ ПРЕДПОЛОЖИЛИ, что если неприятие чужих яиц возникает как следствие паразитизма кукушек, то виды, неудобные для кукушки в качестве хозяев, не будут отвергать яйца, непохожие на собственные, поскольку в истории этих видов не было взаимоотношений с кукушками. К неудобным хозяевам относятся такие виды, которые, хотя и имеют подходящий ассортимент питания, гнездятся в маленьких дуплах или норах, и те, которые выкармливают птенцов семенами. Наше предположение подтвердилось: восемь из девяти изученных видов, неудобных в качестве хозяев для кукушки, не отвергали совсем или только в незначительной степени отвергали яйца, отличавшиеся от их собственных.

В этом аспекте мы выявили некоторые различия между близкородственными видами. Из четырех изученных видов семейства выюровых только один (зяблик, *Fringilla coelebs*), который выкармливает птенцов беспозвоночными и поэтому подходит для кукушки в качестве хозяина, стойко отвергал чужие яйца. Три «неудобных»

хозяина, которые выкармливают птенцов семенами (зеленушка, *Chloris chloris*, коноплянка, *Acanthis cannabina* и снегирь, *Pyrrhula pyrrhula*), чужих яиц не отвергали. Из двух видов мухоловок (семейство *Muscicapidae*) серые мухоловки — на открытых гнездах которых паразитируют кукушки — стойко отвергали чужие яйца, тогда как мухоловки-пеструшки (*Ficedula hypoleuca*), чьи расположенные в дуплах гнезда недоступны для кукушек, вообще не отвергали чужих яиц. Эти данные показывают, что выбраковывание чужих яиц не является признаком, связанным с принадлежностью к какой-то определенной таксономической группе, а связано с эволюционным опытом общения этих видов с кукушками.

Наше сравнительное исследование убедительно доказывает, что до «знакомства» с кукушками луговые коньки, белые трясогузки и другие излюбленные современными хозяева кукушки не отвергали яйца, отличавшиеся по виду от их собственных. Конечно, для получения доказательств невозможно попасть в прошлое, но ведь можно провести эксперимент. Кукушки размножаются на огромной территории — от западной Европы до Японии, но в Исландии, к примеру, наблюдаются только их редкие кочевки, и не известно ни одного случая размножения. Однако при этом в Исландии существуют изолированные популяции луговых коньков и белых трясогузок (популяция белых трясо-

Хотя мы знаем, что кукушки подбрасывают яйца в гнезда завирушек по меньшей мере в течение 600 лет, в настоящее время только 2% гнезд завирушек в Великобритании подвергаются паразитизму, и при таком его уровне потребуются тысячи поколений и лет для того, чтобы дискриминация яиц распространилась в популяции хозяина. Большая часть Великобритании 8,5—6 тыс. лет назад была покрыта первобытными лесами, и в такой среде обитания завирушки были не слишком распространены. По всей вероятности, они не были жертвами кукушки до тех пор, пока не начались обширные вырубки лесов в период между 6,5 и 2,5 тыс. лет назад (примерно такое время должно понадобиться, как показывают расчеты, для того, чтобы дискриминация получила распространение).

Тростниковые камышовки, луговые коньки и белые трясогузки по-видимому, находятся на более высокой стадии «гонки вооружений», где хозяева отвергают яйца, непохожие на их собственные, а кукушки разных генетических рас откладывают миметические яйца. В Центральной Европе, где протяженность ненарушенных местообитаний больше, можно найти примеры даже лучшей мимикрии яиц у кукушек, что, по-видимому, связано с более тщательной дискриминацией яиц хозяевами. Так, кукушки, которые «специализируются» на горихвостках-лысушках (*Phoenicurus phoenicurus*), откладывают голубые миметические яйца. Чрезвычайно детальная мимикрия у кукушек, которые паразитируют на дроздовидных камышовках (*Acrocephalus arundinaceus*), где безупречно скопировано каждое пятнышко на яйце хозяина. В Центральной Азии и Африке, откуда, по всей вероятности происходят кукушки и где совместно обитает несколько их видов, каждый из них специализируется на определенном виде хозяина. Здесь имеются примеры столь совершенной мимикрии, что единственный способ отличить яйцо паразита — это взвесить его скорлупу. По-видимому, взаимоотношения между паразитом и хозяином были здесь самыми длительными.

Итак, наши эксперименты показали типичный пример козволюции. Кукушки, несомненно, приспособлялись к своим хозяевам: процедура откладки яйца кукушкой по большей части служит тому, чтобы обмануть бдительность хозяев, а совершенство мимикрии яиц в различных расах кукушек соответствует степени дискриминации, проявляемой их хозяевами. Хозяева, в свою очередь, приспособляются к кукушкам: виды с корот-

кой историей паразитизма не отвергают яиц кукушек, а популяции излюбленных хозяев кукушек, которые длительное время были от них изолированы, показывают меньшую дискриминацию яиц, чем популяции, на которых кукушки активно паразитируют.

Совершенство мимикрии у паразита и дискриминации хозяина может быть не единственным следствием козволюции. Наши эксперименты подтверждают также другую возможность. Удобные для кукушек хозяева, некоторые виды которых сей-

час редко или вообще не подвергаются паразитированию, тем не менее сильнее отвергают чужие яйца, чем излюбленные в настоящее время хозяева кукушек. Это сохранившиеся свидетельства проводившейся некогда «гонки вооружений» их предками и кукушками. Возможно, дискриминация чужих яиц, которую им удалось развить, привела соответствующие генетические расы кукушек к вымиранию или заставила переключиться на гнезда других видов, еще не закаленных в борьбе.

Книги издательства „Мир“

ВИРУСОЛОГИЯ

В 3-х томах
Под ред. Б. Филдса и др.
1989 г. Цена комплекта 9 р.

КЛОНИРОВАНИЕ ДНК. МЕТОДЫ

Под ред. Д. Гловера
1988 г. Цена 4 р. 40 к.

Э. Ливер ЭЛЕКТРОННАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

В 2-х частях
1987 г. Цена комплекта 9 р. 20 к.

З. Паал, Ж. Чичери КАТАЛИТИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ ЦИКЛИЗАЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ

1988 г. Цена 1 р. 80 к.

ПЛАЗМИДЫ. МЕТОДЫ

Под ред. К. Харли
1989 г. Цена 3 р. 30 к.

А. Сассон БИОТЕХНОЛОГИЯ. СВЕРШЕНИЯ И НАДЕЖДЫ

1987 г. Цена 1 р. 60 к.

Л. Деврой, Л. Дьёрфи НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ПЛОТНОСТИ

1988 г. Цена 3 р. 20 к.

К. Деккер, Я. Вервер УСТОЙЧИВОСТЬ МЕТОДОВ РУНГЕ-КУТТА ДЛЯ ЖЕСТКИХ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

1988 г. Цена 3 р. 80 к.

П. Д. Лакс, Р. С. Филлипс ТЕОРИЯ РАССЕЯНИЯ ДЛЯ АВТОМОРФНЫХ ФУНКЦИЙ

1979 г. Цена 1 р. 80 к.

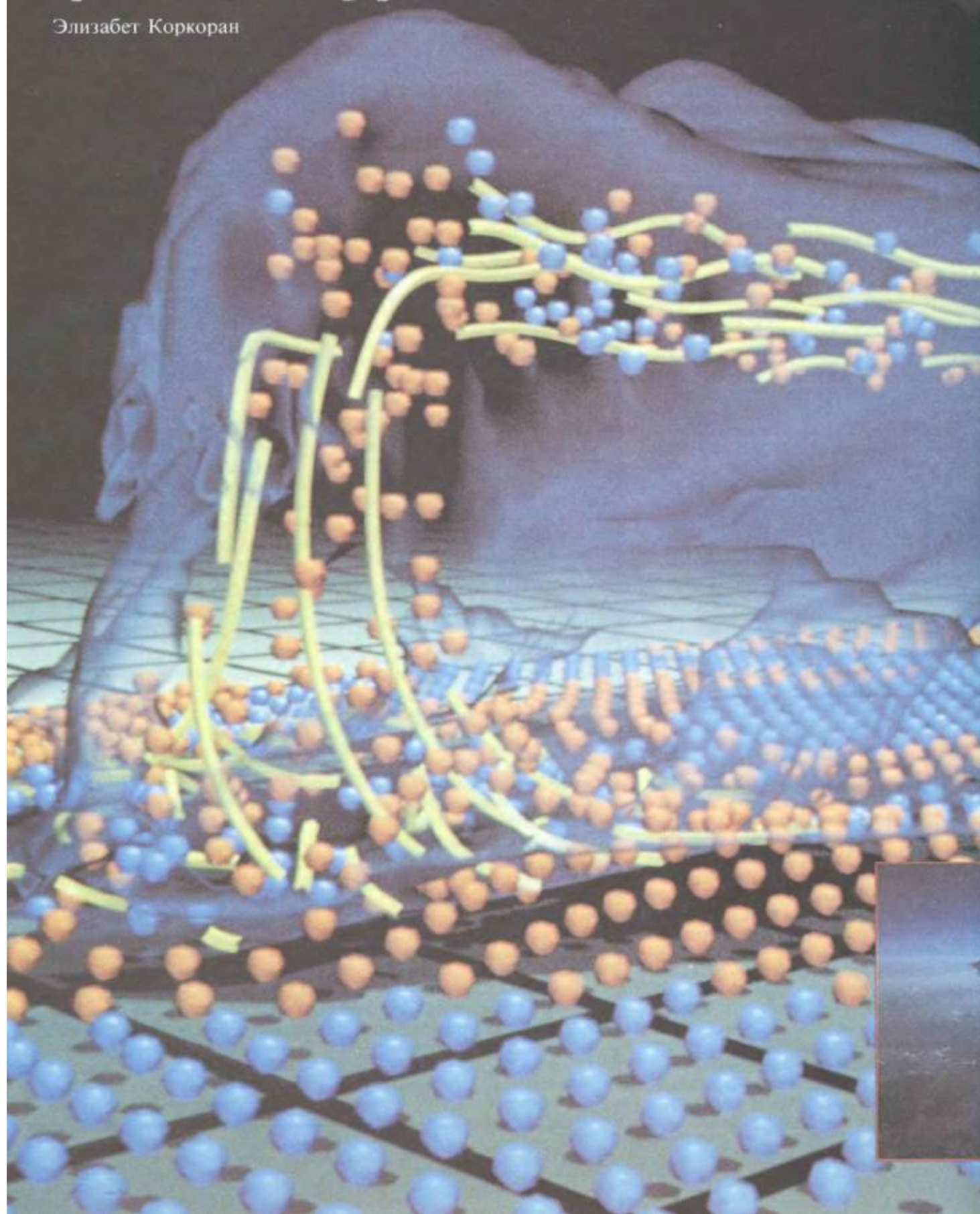
Эти книги вы можете получить наложенным платежом, направив заказ по адресу: 191040 Ленинград, Пушкинская ул., 2, магазин № 5 «Техническая книга»



Тенденции развития вычислительной техники

Суперкомпьютеры: архитектура и возможности

Элизабет Коркоран



Смело отказываясь от традиционных конструкций, архитекторы суперкомпьютеров соревнуются в создании мощных машин, способных преобразить науку.

МОМЕНТ В РАЗВИТИИ СИЛЬНОЙ БУРИ, смоделированной на суперкомпьютере, отражает турбулентное движение воздуха внутри облачной массы, сформировавшейся около 45 мин назад.

Чтобы составить карту воздушных потоков, в модели на пути бури в горизонтальной плоскости на высоте около 1 км от земной поверхности выпускаются невесомые трассирующие частицы. В восходящем потоке частицы имеют оранжевую окраску, в нисходящем — голубую. Желтые ленты — следы некоторых частиц — показывают траекторию воздушных масс в течение предшествовавших 500 с.

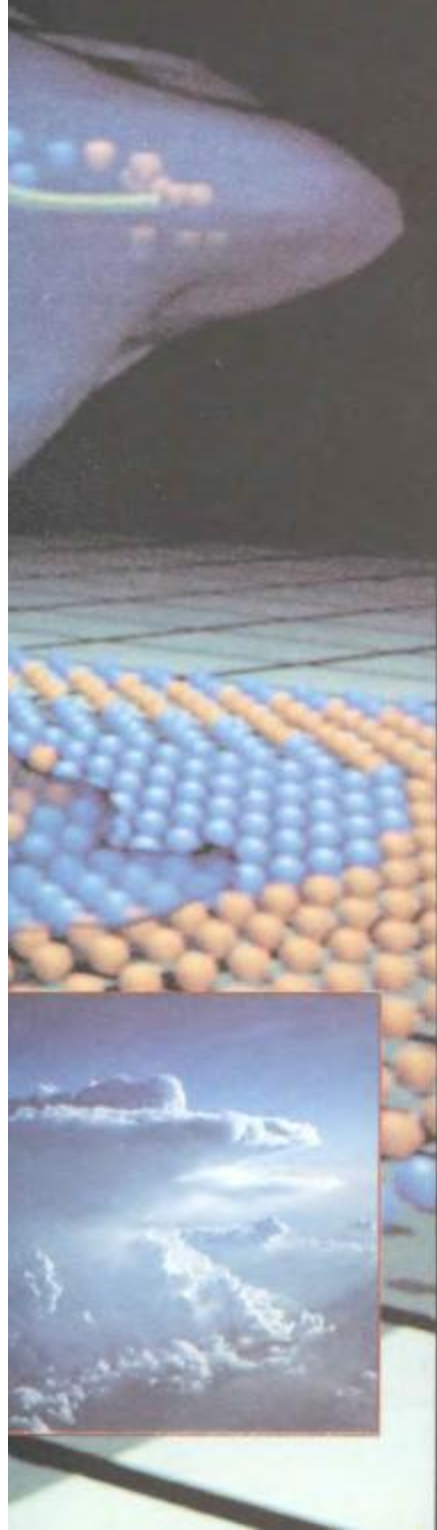
Исследователи из Национального центра применения суперкомпьютеров и факультера атмосферных явлений Иллинойского университета в Урбана-Шампейне надеются, что благодаря подобным моделям они лучше поймут поведение бурь и смогут точнее предсказывать развитие атмосферных вихрей в реальных условиях.

Над висконсинскими полями раскинулось ясное осеннее небо. Только его и можно видеть из окон компании Supercomputer Systems, Inc. в О-Клэре, где разработчики компьютеров, склоняясь над чертежными досками, пытаются создать новое устройство, которое по их мнению станет самым быстродействующим компьютером в мире.

Между прочим, компания SSI делает лишь первые шаги. А в нескольких милях от нее, в Чиппева-Фолз, находится компания Cray Research, Inc., известная своим мастерством в разработке суперкомпьютеров. Здесь рабочие, занятые сборкой суперкомпьютера «Cray» нового поколения, с гордостью носят небесно голубые фирменные пиджаки с броской надписью: «Крэй — самые быстрые компьютеры в мире». Но лидирующее положение в этой отрасли уже начинает ускользать от корпорации Cray.

В нескольких сотнях миль к югу, на Среднем Западе, исследователям из Иллинойского университета в Урбана-Шампейне видится другая картина. Небо над ними уже не такое спокойное, в нем чувствуется дыхание бури. С помощью огромного арсенала суперкомпьютеров исследователи пытаются выяснить, почему некоторые бури обладают столь разрушительной силой. И все же компьютерам, которыми располагают ученые, не хватает скорости, чтобы смоделировать торнадо, эти относительно небольшие, но свирепые бури, которые каждый год приносят убытки, исчисляемые миллиардами долларов, и уносят в США примерно 80 человеческих жизней.

Как и другие пользователи суперкомпьютеров, иллинойские ученые



надеются, что к концу нынешнего десятилетия соревнующиеся между собой группы разработчиков суперкомпьютеров создадут машины, имеющие достаточное быстродействие и память, чтобы можно было построить модели с более адекватным отражением некоторых сложнейших природных явлений. Эти компьютеры будут не просто потрясающе быстрыми вычислительными механизмами. Они встанут в один ряд со сверхпроводящим суперколлайдером (ускорителем частиц) или растровым туннельным микроскопом — научно-техническими достижениями, прокладывающими путь в новые глубины практически во всех областях науки.

С точки зрения разработчиков суперкомпьютеров цель их своеобразного «многоборья» заключается в достижении трех «Т» (тера) — триллиона (10^{12}) операций в секунду, триллиона байт памяти и триллиона байт в секунду в линиях передачи данных. Каждый из этих показателей почти в 1000 раз превышает возможности существующих суперкомпьютеров. Чтобы достичь этих «тера» значений, по мнению большинства специалистов, нужно отказаться от традиционных конструкций, рассчитанных на обработку информации в

ЭВОЛЮЦИЯ МОДЕЛЕЙ

В последние 10 лет модели позволили получить немало информации о бурях. В 1982 г. П. Рэй (Университет шт. Флорида) и Р. Уилхелмсон (Иллинойский университет) создали физическую модель ветра и осадков в виде натянутых проволок между плексигласовыми пластинами (слева). В 1985 г. Дж. Клемп из Центра атмосферных исследований в Баулдере (шт. Колорадо) с помощью компьютера и цветного графического дисплея получил статические изображения бури (в середине). Двумя годами позже Уилхелмсон, используя суперкомпьютер и дисплей с мультипликационным изображением, создал короткий фильм, отражающий развитие бури (справа).



пошаговом, или последовательном, режиме. Новые суперкомпьютеры должны будут обрести способность проводить параллельные вычисления, когда большие задачи сначала разбиваются на составляющие, которые решаются одновременно, а затем результаты вычислений объединяются, давая решение исходной задачи.

Никогда еще в истории компьютерной техники, начавшейся с создания

первой вычислительной машины в 40-х годах, организация или архитектура компьютера не подвергалась такому коренному пересмотру и переосмыслению. Около десятка конкурирующих организаций, включая SSI и Cray Research, занимаются в настоящее время разработкой новых поколений самых мощных компьютеров.

Это будет борьба за выживание, в которой успех одержит не просто

ВЕЛИКО ЛИ БЫСТРОДЕЙСТВИЕ?

Если попросить десяток пользователей суперкомпьютеров и изготовителей ранжировать по скорости самые быстрые машины, то ссоры было бы не миновать.

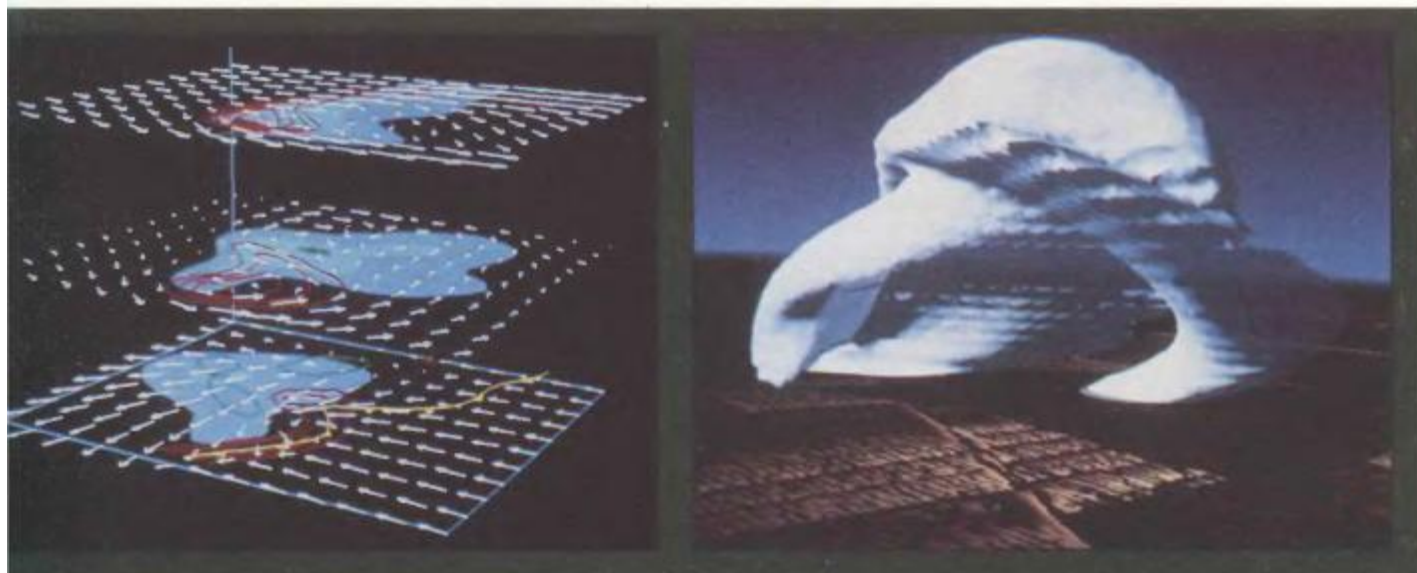
Существуют веские основания для разногласий. Наверное, лучший способ оценить быстродействие — это выполнить программу, или алгоритм, и подсчитать, сколько операций с плавающей точкой машина может выполнить

в течение 1 с. Проблема, однако, в том, что благодаря некоторым едва заметным различиям в исполняемых программах различные суперкомпьютеры будут выглядеть намного более быстрыми или, наоборот, более медленными.

Д. Кук, руководитель научно-технического центра суперкомпьютеров при Иллинойском университете заявляет: «Никаких машин быстродействием 100 мегафлопов не существует, когда пользователи начинают работать с программами». Чтобы не быть голословным, Кук проверил выполнение 13 широко используемых процедур на различ-



ИСТОЧНИК: НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР СУПЕРКОМПЬЮТЕРОВ



тот, кто создает самую быструю машину. Помимо множества прочих обстоятельств, следует учитывать один коварный фактор: специалисты, которые должны будут обеспечить наиболее эффективную эксплуатацию нарождающихся суперкомпьютеров с их колоссальными возможностями, — это люди, не являющиеся знатоками в области компьютеров. Они — специалисты в иных отраслях

знаний и зачастую не склонны тратить время на составление программ для компьютера. Построить компьютер, способный достичь производительности, измеряемой терафлопом, т. е. триллионом операций с плавающей точкой в секунду, проще, чем создать систему, которой было бы удобно пользоваться ученым.

Роберт Б. Уилхелмсон — один из метеорологов в Национальном цент-

ре практического применения суперкомпьютеров при Иллинойском университете, использующий суперкомпьютеры для изучения бурь. В его распоряжении машина «Cray-2», теоретически способная «проворачивать» около двух миллиардов арифметических операций с плавающей точкой в секунду, другими словами ее производительность составляет 2 гигафлопа. С помощью этой машины Уилхелм-

ных машинах: 11 суперкомпьютерах и 2 рабочих станциях (данные приведены на диаграмме). Полученные результаты свидетельствуют о большом разбросе: большинство суперкомпьютеров выполняют отдельные процедуры до 100 раз быстрее, чем другие. Сравнимые по мощности машины выполняют одну и ту же процедуру с различными скоростями. И ни один из суперкомпьютеров не достиг своей предполагаемой пиковой производительности.

«Промышленники, как правило, игнорируют это обстоятельство, а для пользователей это крайне важно, — заявляет Кук. Коммерческие пользователи хотят иметь точные характеристики рабочих станций, какие они имеют о «VAX

11-780» и «DEC-6000». Хотя немногие из отобранных Куком 13 процедур могут выполняться на высокопараллельных компьютерах, он считает, что эти архитектуры продемонстрируют еще большие расхождения.

«Это заложено в самой природе вычислительной техники», — возражает С. Белл, ведущий архитектор компьютеров «VAX». Он говорит, что компьютеры имеют различные степени параллелизма, так же, как и программы. Программы, не полностью использующие преимущества параллельного режима, будут выполняться медленнее. Белл считает, что необходимо повысить качество подготовки программистов.

Кук надеется изучить причины расхождений с помощью построенного им 32-процессорного компьютера «Cedar», который будет моделировать другие машины. «Параллельные машины никогда не приживутся, если пользователи не смогут предсказывать их поведение», — говорит он.

Белл отвечает: «Предсказуемость — это ошибочная цель. В машинах и компиляторах нужно добиваться наибольшей теоретически возможной производительности применительно к любой конкретной задаче».



Восемь шагов на пути к терафлопам

При конструировании суперкомпьютеров, способных выполнять триллион операций в секунду, разработчик сталкивается с множеством проблем. По просьбе журнала «Scientific American», Д. Паттерсон, профессор Калифорнийского университета в Беркли, провел короткое исследование по поводу создания гипотетического компьютера «TF-1».

1. Какие крупные задачи не могут быть решены существующими суперкомпьютерами?

Конструктор должен знать, какие сейчас существуют «грандиозные проблемы» (например, картирование человеческого генома и предсказание глобальных климатических изменений) и иметь их в виду при создании суперкомпьютера.

2. На какую сумму денег можно рассчитывать?

Никто не заплатит 1 трлн долл. за машину, производительностью 1 Тфлоп; но никто и не сможет построить «TF-1» за 1000 долл. Современные суперкомпьютеры стоят 10—30 млн. долл., а их скорость составляет 0,1—0,5% одного терафлопа. Если бюджет проекта составляет от 50 до 500 млн. долл., конструктор может не беспокоиться о деньгах — пока.

3. За решение каких задач клиенты будут готовы заплатить свыше 25 млн долл.?

Если список пуст, то проект обречен. Если существует лишь одно потенциальное приложение, конструктор должен рассмотреть возможность создания менее дорогостоящей специализированной архитектуры. При наличии же большого количества полезных приложений, создание «универсального» компьютера «TF-1» будет оправдано.

4. Какова степень параллелизма в предполагаемых приложениях?

Охарактеризовать параллелизм — означает выявить повторяющиеся действия в задаче. Например, моделирование воздушных потоков может оказаться ярко выраженной параллельной задачей, поскольку программисту нужно предсказать действие одинаковой силы, примененной к каждой частичке воздуха. В то же время системы нелинейных уравнений, решение каждого из которых следует подставлять в следующее уравнение, не поддаются параллельному решению.

Имея в виду сказанное, ответьте на следующие вопросы:

5. Какой будет в среднем степень параллелизма у решаемых задач?

Предположим, что мы моделируем поведение 4 частиц, движущихся под действием одной и той же силы. Очевидно, что пользоваться машиной с 8 или 16 процессорами нецелесообразно. Создание такой машины может обойтись вдвое дороже, чем простой машины, причем увеличения скорости вдвое в этом случае не произойдет.

Если задачу можно легко распределить между 10 процессорами, то для достижения суммарной производительности 1 Тфлоп, необходимо, чтобы каждый процессор решал свою часть задачи со скоростью около 100 Гфлоп. Это в 25—100 раз выше, чем у самого быстро-

го современного компьютера. До конца десятилетия процессоры едва ли достигнут такой головокружительной скорости. Приложения, насчитывающие десятки тысяч параллельных элементов, могут решаться с помощью нескольких тысяч процессоров, производительностью 100 М-флоп. Такие скорости станут достижимыми для однокристальных процессоров в течение ближайших нескольких лет.

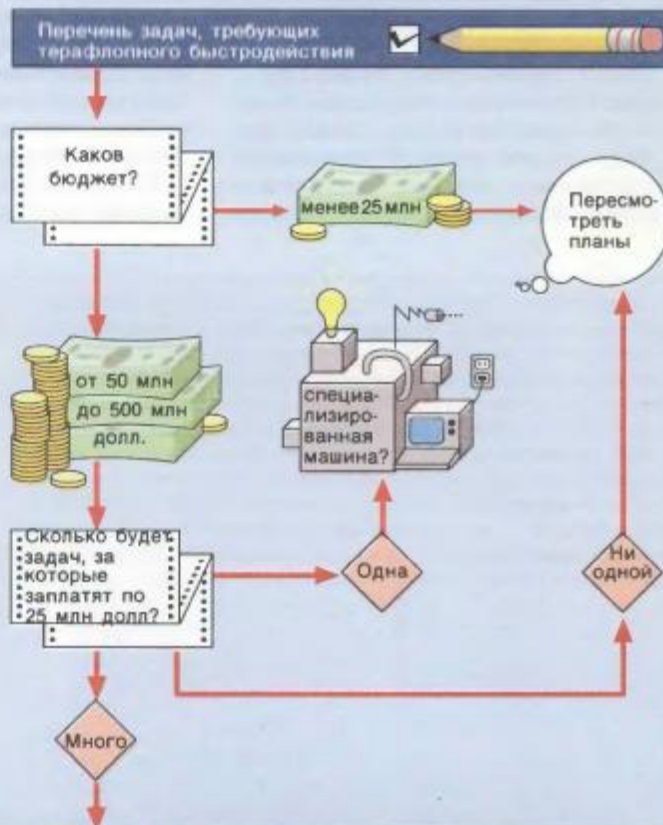
Имея более миллиона параллельных элементов, конструктор должен решить, не будет ли экономичнее воспользоваться миллионом крошечных процессоров, упакованных по 100 на одной микросхеме, или в 10 тысяч раз более мощными устройствами, каждое из которых реализовано в одной микросхеме и может одновременно решать много параллельных задач.

6. Насколько часто процессорам будут требоваться данные из определенных банков памяти?

Машина, которая в 1000 раз быстрее современных суперкомпьютеров, должна иметь память в 1000 раз большего объема, а время доступа в 1000 раз меньшее по сравнению с существующими ЗУ. Но чем больше память, тем медленнее компьютер. Поэтому конструктор «TF-1», вероятно, решит воспользоваться 1000 независимыми ЗУ, работающими одновременно.

Если ожидается, что связь между параллельными процессорами будет нерегулярной, то можно выбрать подход «танцевального зала». Все процессоры выстраиваются по одну сторону, модули памяти — по другую, и между ними образуются временные пары.

Если потребность в связи ожидается минимальной, то



Начинайте конструировать «TF-1» и периодически задавайте себе эти вопросы

конструктор может разделить память на столько модулей, сколько имеется процессоров, и ассоциировать один модуль памяти с одним процессором.

7. Какова структура связей между процессорами?

Процессоры тоже должны быть связаны так, чтобы они имели доступ друг к другу, обменивались информацией и координировали свои действия.

Самый простой и дешевый способ соединения — это шина. Поскольку в любой момент времени лишь одно устройство может передавать данные или инструкции по шине, этот подход слишком ограничен, когда нужно связывать много процессоров. Самая дорогостоящая из существующих схем — это перекрестный переключатель, обеспечивающий непосредственную связь между каждой парой устройств.

Между этими двумя решениями существует много неординарных схем соединения, в которых достигается компромисс между числом одновременных передач информации, скоростью передачи и стоимостью схемы. Один из примеров — решетка, в которой информация посылается ближайшему соседу. Распространение этой схемы на много измерений приводит к конфигурации гиперкуба. При древовидной схеме информация распространяется по различным ветвям структуры.

Недостаток таких ограниченных топологий состоит в том, что программисту иногда необходимо знать, как соединены процессоры параллельной машины, чтобы задача решалась эффективно. Поэтому желательно выбрать топологию, которая может эффективно справляться с разнообразными приложениями.

8. Какова природа параллелизма? Каким образом программист должен управлять процессорами?

Характер параллелизма потенциальных задач помогает конструктору решить, как программы должны управлять действиями машины. Если процедура решения может управляться единой последовательностью инструкций, оперирующих многими наборами данных, то можно воспользоваться схемой «одна инструкция, много данных» (SIMD). В такой машине одно, отдельное запоминающее устройство поставляет все инструкции.

Синхронизация SIMD имеет свои как сильные, так и слабые стороны. Подобная неявная синхронизация может упростить задачу программиста, поскольку она представляет машину в виде последовательного устройства. Однако понадобится слишком обширное управление синхронизацией, когда задача требует, чтобы различные процессоры решали разные задачи.

Если задача требует многих независимых последовательностей инструкций, то архитектура должна принимать форму «много инструкций, много данных» (MIMD). Такая машина, очевидно, более универсальна по сравнению с архитектурой SIMD, однако процессоры в схеме MIMD должны периодически проверять, согласована ли их работа с другими процессорами.

сону удалось заснять на киноленту эволюцию атмосферной бури, на что ему и его коллегам потребовался почти год.

Если бы, как говорит Уилхелмсон, он располагал суперкомпьютером, производительность которого исчислялась терафлопами, то такой фильм можно было бы сделать за несколько часов, а затем, изменив параметры, снова запустить процесс моделирования. Потребность в больших вычислительных мощностях испытывает не только Уилхелмсон. Почти десять лет назад нобелевский лауреат Кеннет Уилсон составил список самых трудных научных проблем, представляющих наибольший интерес для ученых. Среди этих проблем — картографирование человеческого генома и прогнозирование глобальных климатических изменений на несколько десятиков или даже сотен лет вперед. По словам Дж. Р. Ратнера, заведующего технологическим сектором отдела суперкомпьютеров корпорации Intel в Бевертоне (шт. Орегон), решение таких задач потребует мощных компьютеров производительностью несколько терафлопов.

Пока столь мощных машин нет. Ожидается, что в 1992 г. Cray Research начнет поставлять заказчикам компьютер следующего поколения, Y-MP/16, максимальное быстродействие которого составит примерно 16 гигафлопов, а средняя производительность машины будет около 10 гигафлопов. Однако это все же далеко от «тера»-уровня.

Появление Y-MP/16 ознаменует конец эры компании Cray Research, родоначальницы технологии суперкомпьютеров. Разногласия по поводу архитектуры следующих поколений компьютеров привели к расколу фирмы. Сеймур Крэй, патриарх суперкомпьютеров и архитектор машин «Cray-1» и «Cray-2», решил, что в его следующей машине («Cray-3») высокое быстродействие будет обеспечиваться благодаря применению арсенида галлия. Однако изготовление микросхем из арсенида галлия оказалось очень дорогостоящим и слишком трудоемким. Поэтому около двух лет назад Крэй закрыл свое висконсинское предприятие и образовал новую фирму Cray Computer Corporation в Колорадо-Спрингсе.

Вслед за уходом Крэя последовал уход Стива С. Чена, молодого конструктора, создавшего серию компьютеров «X-MP» и «Y-MP». Чен решил уйти и основать компанию Supercomputer Systems после того, как администрация Cray Research отказалась от разработки компьютера предложенной им новой архитектуры, которую сочли слишком претенциоз-

ной. Тем временем оставшиеся специалисты избрали путь, резко отличающийся от традиционного для Cray Research подхода. Они решили создать параллельную систему с тысячами процессоров, а не несколькими, как это было раньше.

Такой принципиально новый подход явился отражением фундаментальной дивергенции в архитектурных решениях построения суперкомпьютеров. Когда в 50-е годы Крэй делал первые шаги в конструировании компьютеров, он, как и многие другие, избрал структурную схему, разработанную десятилетием раньше архитекторами компьютера «ENIAC», одной из первых электронных вычислительных машин. Программы и данные хранились как числа в центральной памяти. Единственный процессор интерпретировал инструкции по очереди, одну за другой, и обрабатывал данные. Внутренние часы отмеряли темп выполнения операций.

В течение нескольких десятилетий создание более быстрого компьютера означало ускорение хода часового механизма — а буквально, уменьшение интервала времени, требовавшегося на выполнение одной операции. Сначала это давалось просто: нужно было лишь применять более «быстрые» компоненты. Но затем, в начале 70-х годов рост быстродействия последовательных машин резко снизился. Поэтому Крэй и группа его коллег стали искать более сложные приемы, позволявшие обойти это принципиальное ограничение. Они минимизировали расстояния, проходимые электронным сигналом, для чего плотнее упаковывали электронные компоненты и разрабатывали новые методы отвода тепла от рабочих узлов с тем, чтобы последние не сгорали и не выходили из строя.

Следуя примеру других, Крэй также начал делать скромные шаги в сторону параллельных систем. Если раньше центральный процессор выполнял каждый шаг вычисления в последовательном порядке, то теперь Крэй стал разбивать задачу на части. Метод, называемый конвейерной обработкой, превратил центральный процессор в своеобразную сборочную линию — конвейер из одновременно работающих устройств. Одно устройство выполняет первый шаг вычисления и посылает результаты другому. Когда второе устройство вступает в работу, первое начинает решать уже следующую задачу. Конвейеры привели к векторной обработке, при которой однотипные операции применяются одновременно к каждому числу в упорядоченном массиве, или векторе.

Другая звезда конструирования в

ПОРТРЕТ НЕЙРОНА

Развитие болезни Альцгеймера в нейроне можно наблюдать с помощью высоковольтного электронного микроскопа, позволяющего получить трехмерное изображение клетки. На изображении у ядра клетки (синий) видны характерные для болезни спаренные спиралевидные волокна (красные). Клетка содержит также аппарат Гольджи (белый); там молекулы сахара прикрепляются ко вновь синтезированному белкам.

Исследователи из Калифорнийского университета в Сан-Диего Д. Хесслер, С. Янг и М. Эллисман впервые создали упрощенное изображение клетки на гра-

фической рабочей станции. Проанализировав изображение, они тщательно изучили несколько отобранных кадров, воспользовавшись суперкомпьютером «Cray Y-MP».



компании Cray Research — Чен избрал другой путь повышения быстродействия: увеличение количества процессоров. Машина «Cray X-MP», выпущенная в 1982 г., по сути представляла собой два процессора машины «Cray-1», соединенные в одном устройстве. Хотя оба процессора имели доступ к данным, хранящимся в общей памяти, каждый из них выполнял свою ветвь вычислений. Чен не был первым, кто воспользовался многими процессорами. Но когда оба процессора одновременно решали задачу, компьютер Чена «X-MP» превосходил по скорости конструкцию Крэя и становился таким образом самым быстрым компьютером.

Архитектура, основанная на использовании множества векторных процессоров, связанных с центральной памятью, стала доминирующей в конструктивном построении суперкомпьютеров. Она также ознаменовала собой эпоху выхода суперкомпьютеров за пределы немногочисленных специализированных центров, таких, как Национальные лаборатории США, и доступности более широкому кругу пользователей. Этой перемене способствовало решение Национального научного фонда субсидировать пять университетских центров, занявшихся решениями проблемы приложения суперкомпьютеров. Тысячи аспирантов и десятки компаний впервые узнали о возможностях суперкомпьютеров именно в этих центрах. Главное, что пользователи вычислительных машин получили возможность «визуализации», т. е. наглядного представления результатов вычислений путем их преобразования в эффективные и содержательные

графические изображения. Чем больше изображений получали пользователи, тем большие вычислительные мощности им требовались.

Тем временем конкурентная борьба между производителями суперкомпьютеров начала накаляться, особенно после того, как в этой области объявились три крупнейшие японские электронные фирмы: Fujitsu, Hitachi и NEC. Имея немалый опыт в разработке сложных интегральных микросхем, японские фирмы в большем масштабе, чем Крэй, начали пользоваться векторной обработкой и конвейерами и благодаря этому сумели создать еще более производительные процессоры. В настоящее время лидирующая роль принадлежит компании NEC. Каждый процессор ее суперкомпьютера «SX-3» обладает машинным циклом всего 2,9 нс и пиковым быстродействием 5,5 гигафлопа — таким образом, он значительно быстрее, чем процессоры компьютера «Cray-2», имеющие цикл длительностью 4,1 нс.

Но даже специалисты из NEC сомневаются, что им удастся намного повысить быстродействие своих процессоров. «Честно говоря, в конструкциях суперкомпьютеров мы сошлись на перекрестке дорог, — заявил Тадаши Ватанабе, менеджер фирмы NEC, прозванный «японским Сеймуром Крэем» за успешную разработку машин серии «SX». — Вероятно, в следующем поколении [SX] мы сумеем достичь более высокой плотности элементов на биполярных микросхемах. Но я не знаю, каким будет поколение вслед за этим».

Специалисты из компании Fujitsu, доминирующей на японском рынке

суперкомпьютеров, настроены так же пессимистично относительно перспектив развития машин с одиночным процессором. Высшее достижение фирмы Fujitsu, процессор «VP-2600», имеет машинный цикл 3,2 нс и пиковое быстродействие 5 гигафлопов. «Сократить машинный цикл до 1 нс будет очень трудно, если пользоваться обычными конструкциями микросхем и корпусов», — признает К. Учида, который возглавляет разработку логических элементов в инженерном центре фирмы в Kawasaki, пригороде Токио.

Однако отказ от классической конструкции повлечет за собой немалые расходы. Адаптация программного обеспечения, написанного для векторных процессоров, к архитектуре с высокой степенью параллелизма может оказаться мучительным делом. Хотя специальные программы, называемые компиляторами, способны помочь пользователям и придать программам форму, пригодную для векторных процессоров, для высокопараллельных архитектур такие компиляторы едва ли вообще существуют. В результате высокий параллелизм «является компромиссом между быстродействием и простотой эксплуатации», — говорит Ватанабе. — С точки зрения пользователя, у универсальной вычислительной машины число процессоров должно быть невелико».

По мнению Сеймура Крэя, отказ от векторной архитектуры процессоров чреват возникновением многих сложностей. Он не очень уверенно себя чувствует в сфере высокопараллельных конструкций. Как говорит Н. Дзвенпорт, председатель правления фирмы Cray Computer: «Сеймур сказал бы, что он хочет сделать свой собственный вклад, а что касается параллелизма, то другие специалисты и заинтересованы больше него, и обладают большей квалификацией в этой области».

В результате и Крэй, и японские компании — правда, по отдельности — надеются выжать дополнительное быстродействие из старых конструкций, заменив кремниевые процессоры на устройства из арсенида галлия. (Поскольку электроны испытывают меньшее сопротивление в арсениде галлия, чем в кремнии, логические схемы, выполненные из этого материала, должны обладать большим быстродействием и выделять меньше тепла по сравнению с кремниевыми кристаллами.) Крэй намеревается объединить 16 процессоров из арсенида галлия.

Однако арсенид галлия — очень капризный материал, и потому связы-

ваться с ним весьма рискованно. Крэй организовал предприятие по производству кристаллов из арсенида галлия как филиал своей компании. Если дела пойдут хорошо, компания надеется выпустить свою первую машину к концу нынешнего года — на два года позже запланированного срока. «Здесь необходимо терпение», — говорит вздыхая Дзвенпорт.

Японские производители суперкомпьютеров, возможно, окажутся в числе очень немногих, кто располагает достаточными финансовыми и техническими возможностями для того, чтобы заниматься дальнейшими разработками на основе арсенида галлия и других прогрессивных материалов. Но даже они проявляют осторожность в исследовании новых материалов. В рамках программы, рассчитанной на 10 лет и финансируемой японским министерством внешней торговли и промышленности, компании Fujitsu, NEC и ряд других фирм, производящих компьютеры, изготовили несколько опытных образцов быстродействующих устройств.

По словам разработчиков, чтобы встроить подобные компоненты в суперкомпьютеры, потребуется по меньшей мере еще одно десятилетие. Но даже в случае успеха, «чтобы добиться более высоких скоростей, количество процессоров должно неминусом возрасти», признает Ватанабе.

Мало кто знает наверняка, но судя по всему компания SSI предпринимает серьезные попытки собрать воедино множество векторных процессоров. Хотя Чен еще не совершил скач-

ка к высокопараллельной архитектуре, «все принятые им инженерные решения были в пользу параллелизма», сказал Р. Валан, один из директоров SSI. Известно, что Чен очень неохотно делится информацией о своих проектах. Его склонность к немногословию отражается и в назидательных надписях на пирожных, продающихся в местном китайском ресторанчике, которым владеет Чен. Например, один человек, недавно побывавший в О-Клэре, получил такое написание: «Кто без дела сыплет словами, тот как сад, что порос сорняками».

Несмотря на значительную финансовую и техническую поддержку со стороны корпорации IBM, исследователи из SSI отдают себе отчет в том, что им предстоит ожесточенная конкуренция со стороны других фирм, производящих суперкомпьютеры. Наши конкуренты «возможно будут удивлены не тем, что мы делаем, а тем, как мы это делаем», — сказал один из инженеров SSI. По словам Валана, компания пока не выбилась из графика и намерена закончить работу над машиной «SS-1» в 1993 г. «Главное, чего мы желаем, — говорит инженер, — так это, чтобы Сеймур продолжал откладывать выпуск своего компьютера «Cray-3»».

В долговременной перспективе конструкция машины «Cray-3» не сможет удержать своих позиций в соревновании на быстродействие. Председатель правления компании Дзвенпорт говорит, что быстродействие суперкомпьютера на основе арсенида гал-

лия составит около 20 гигафлопов, что примерно в 10 раз больше, чем у модели «Cray-2». Даже если Крэй удастся найти спонсоров и клиентов, которые окажут необходимую финансовую поддержку в создании модели «Cray-4», эта будущая машина, по всей вероятности, повысит быстродействие не более чем еще в 10 раз — а это далеко от быстродействия, измеряемого терафлопами.

Действительно, за последние год-два почти догматическим стало утверждение о том, что лишь высокопараллельные машины, насчитывающие несколько сот или тысяч процессоров, достигнут производительности на уровне нескольких терафлопов. Если на первых двух конференциях по суперкомпьютерам, проводимых Институтом инженеров по электротехнике и радиоэлектронике, основной тон задавали доклады С. Крэя и Дж. Роллвагена, председателя правления компании Cray Research, то на последней конференции все лавры достались Дэни Хиллису, конструктору самого производительного высокопараллельного компьютера на мировом рынке. Когда Хиллис спросил у аудитории, кто не согласен с его утверждением, что наиболее быстрые машины будут параллельными, лишь несколько человек робко подняли руки.

В высокопараллельных архитектурах выигрыш в скорости достигается за счет объединения большого количества микропроцессоров, в которых, кроме логических компонентов, имеется своя память и механизмы связи

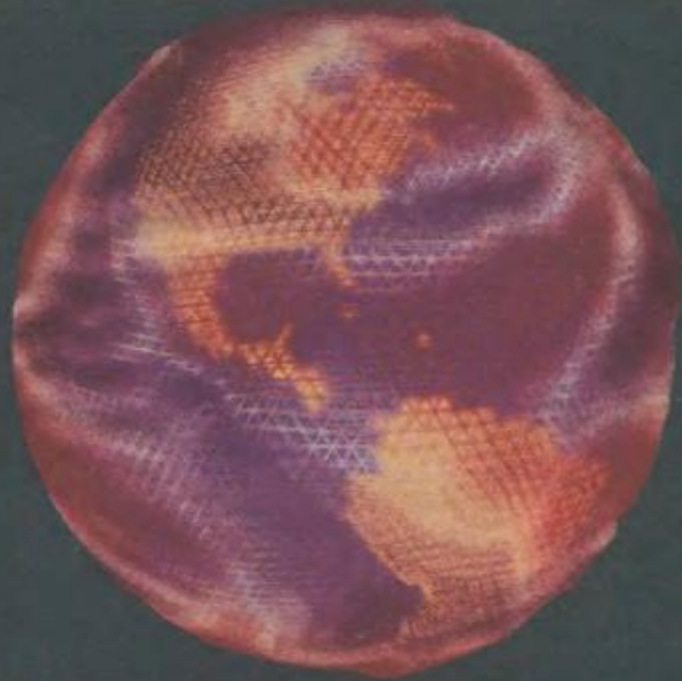
ОТ ВЗРЫВОВ К КЛИМАТИЧЕСКИМ ИЗМЕНЕНИЯМ

Исследователи из Лос-Аламоса приспособили метод, разработанный для моделирования взрывов, к моделированию климатических изменений.

Этот портрет пограничного слоя планетарной атмосферы построен на решетке из полумиллиона четырехгранников. Участки суши окрашены в желтый цвет. Области высокой кинетической энергии окрашены красным, а области низкой энергии белым и пурпурным. Поскольку этот атмосферный слой находится на высоте около полутора километров от земной поверхности, горы образуют неровные вкрапления. Каждый четырехгранник покрывает область, шириной не более 30 км.

Чтобы построить гибкую решетку, ученые воспользовались коммутационной машиной — высокопараллельным компьютером и графическими программами, разработанными в компании Delany Enterprises (Кембридж, шт. Массачусетс). В случае такого возмущения, как ураган, такие решетки будут изгибаться. Традиционные решетки в виде жестких прямоугольных блоков, обычно не обладают достаточным разрешением, чтобы успешно описывать относительно локальные явления.

Чтобы рассчитать возмущения, программист может предусмотреть по одному процессору на каждый четырехгранник (программное обеспечение создает иллюзию необходимого числа «виртуальных процессоров»).



с другими микропроцессорами; по существу они являются однокристальными микропроцессорами. Каждый из этих микропроцессоров примерно в 100 раз медленнее, чем процессор компьютера «Cray-1». Однако за счет разделения задачи между множеством процессоров можно добиться очень высокого быстродействия.

Сторонники этого направления видят в нем много преимуществ. Скорость микросхем растет довольно быстро, отмечает Ратнер из фирмы Intel. Более того, микропроцессоры во многих случаях оказываются относительно дешевыми, поскольку разнообразные их типы производятся в больших количествах и для других применений. И все же при попытке объединения большого числа процессоров возникает ряд конструктивных сложностей. (См. вставку на с. 72 и 73).

Хотя в настоящее время не существует какой-либо общепринятой стандартной схемы высокопараллельной машины, сам Хиллис и его коммутационная машина стали эмблемой новой волны в развитии высокопараллельных компьютеров. Хиллис, кроме того, просто находка для жадных до сенсационных сообщений журналистов. Будучи аспирантом Массачусетского технологического института, он ездил на занятия в старинной пожарной машине. Другой впечатляющий факт заключается в том, что он сумел превратить свою диссертацию на звание доктора философии из исследовательского проекта, частично финансируемого Агентством перспективных исследований в области обороны (DARPA), в законченный продукт.

Архитектура коммутационной машины была и остается наиболее прогрессивной. Выбрав в качестве модели мозг и его огромную популяцию относительно медленных нейронов, Хиллис сконструировал компьютер, содержащий более 64 тыс. сравнительно простых процессорных элементов. Данные в системе распределены таким образом, что каждый процессор спарен с запоминающим устройством.

Действия, выполняемые процессорами, управляются с помощью передаваемых им идентичных инструкций. Все процессоры одновременно выполняют операции над поступившими на их вход данными. Как хорошо слаженный хор, процессоры не нуждаются в дополнительной координации, поскольку выполняют одно и то же действие в одно и то же время. Этот подход условно называется SIMD (Single-Instruction stream, Multiple-Data), что означает «одна инструкция, много данных».

Большинство конкурентов Хиллиса работают над архитектурами, которые можно назвать MIMD (Multiple-Instruction stream, Multiple-Data) — «много инструкций, много данных». Архитектура MIMD напоминает балет: многочисленные процессоры решают различные части одной задачи — так же как большая группа танцоров, которые, выполняя индивидуальные движения, вместе исполняют один танец.

Конструкции машин по схеме MIMD могут быть и более гибкими, и более сложными по сравнению с SIMD. Например, MIMD-машины имеют либо одну физически разделяемую общую память, либо распределенные запоминающие устройства. (Векторный процессор — это MIMD-машина с общей памятью, поскольку программист может разделить задачу, распределив ее части на все процессоры.) Однако в случае схемы MIMD конструкторы должны соединять компоненты таким образом, чтобы процессоры могли все время проверять, хорошо ли их действия синхронизированы с работой других процессоров.

Хиллис убежден, что число его сторонников будет расти и что этот подход в конечном итоге должен выиграть соревнование на пути к достижению быстродействия, измеряемого терафлопами. «У меня достаточно оснований считать, что мы первыми создадим машину, близкую к такому уровню», — сказал он, имея в виду «СМ-3», следующую модель коммутационной машины. Конструктивные особенности машины позволяют компании создать семейство компьютеров для решения задач различного уровня сложности. «Она будет достигать терафлопного быстродействия при решении конкретных задач, где требуется такая производительность, например задач квантовой хромодинамики», — обещает Хиллис.

Каким именно образом будут усовершенствованы внутренние механизмы для достижения желаемого быстродействия, пока остается секретом, сказал Хиллис. Конструкторы компании отказываются даже комментировать вопрос о том, будет ли работа машины «СМ-3» сопровождаться миганием красных лампочек, благодаря которому нынешняя модель напоминает макет суперкомпьютера из киносерии «Звездный поход».

Как бы там ни было, но «СМ-3» не будет испытывать недостатка в конкурентах. Всего в нескольких милях от резиденции фирмы Thinking Machines расположилась компания Bolt Beranek and Newman (BBN), основанная в конце 40-х годов. Не-

сколько лет назад BBN построила экспериментальную архитектуру «Monarch». Этот проект финансировался уже упомянутым Агентством DARPA. В настоящее время компания намерена преобразовать «Monarch» в систему под названием «3T». Вместо того чтобы связывать все процессоры с их непосредственными соседями, специалисты BBN решили воспользоваться сетью переключателей между процессорами и памятью.

Другая широко распространенная схема соединений — гиперкуб. В рамках этой схемы пары процессоры — память, называемые узлами, расположены в вершинах кубов и связаны друг с другом ребрами. Разработанные впервые в Калифорнийском технологическом институте схемы на основе гиперкуба были реализованы на практике компанией nCUBE в Бе-

Моделирование на многих машинах

В суперкомпьютерных центрах США мечта о соединении многих компьютеров в единую сеть постепенно превращается в реальность. Эта сложная система позволит ученым, работающим с персональными компьютерами, решать отдельные фрагменты задач с помощью специализированных архитектур (таких, как рабочие станции, специализированные процессоры и суперкомпьютеры) независимо от того, где находятся эти машины.

Ключом к созданию таких сетей являются высокоскоростные каналы связи между компонентами, а также программно-аппаратное обеспечение для функционирования сети. Пока в немногих центрах установлены каналы с быстродействием 100 Мбит/с. Лишь несколько компаний и организаций могут похвастаться устройствами, передающими данные со скоростью 1000 Мбит/с.

Хотя не существует идеальной сети, представим себе, как трое исследователей, работающих в своих кабинетах (черные стрелки), могут пользоваться возможностями сети:

ЖЕЛТЫЙ: физик, специалист по атмосферным явлениям, анализирует, насколько быстро облачная масса превращается в сильную бурю в зависимости от таких условий, как ветер, температура и давление. Поскольку создание трехмерной модели атмосферной бури требует решения многих взаимосвязанных нелинейных уравнений в частных производных, ученый разрабатывает программу на рабочей станции, которая будет эффективно выполняться на одном или нескольких процессорах векторного суперкомпьютера.

Модель требует, чтобы суперкомпьютер черпал данные из большой базы, хранящейся в отдельном сервере

вертоне (шт. Орегон), а также фирмой Intel и компанией Thinking Machines.

Проект «Touchstone», над которым работает Intel, предусматривает достижение уровня терафлопного быстройдействия к середине 90-х годов; при этом связи будут выполнены на основе двумерной решетки. При такой топологии каждый узел соединяется со своими соседями на плоскости; узлы обмениваются информацией в форме сообщений, передаваемых по решетке. А специалисты недавно возникшей компании Tera Computer Company в Сиэтле (шт. Вашингтон) расширяют эту решетку на три измерения. Б. Смит, один из ведущих исследователей компании Tera, размещает узлы процессоров и запоминающие модули по всей сети. Процессоры будут выполнятьinstrу-

кции «фоновой» параллельной задачи, ожидая данных из памяти. Экспериментальная модель компании пока насчитывает 256 процессоров.

Многие другие специалисты, работающие в этом направлении, неохотно делятся информацией относительно выбранного ими подхода. «Как видите, у нас даже нет таблички на двери, — замечает Г. Берхардт III, председатель правления компании Kendall Square Research в Уолтеме (шт. Массачусетс). — Мы не хотим привлекать к себе внимания». Существует множество проектов, разрабатываемых в университетских лабораториях, как в США, так и в других странах. Правительство Германии финансирует проект параллельной архитектуры «Suprenum». Прототип системы построен на 256 узлах — наборах из векторов процессоров, запо-

минающих модулей и элементов связи. Даже японские производители суперкомпьютеров, не рекламируя широко свою деятельность, разрабатывают целый ряд узко специализированных машин с высокой степенью параллелизма. Тем не менее главный вопрос, представляющий наибольший интерес, заключается не в том, насколько быстро будут выполняться тестовые программы в лабораторных образцах новых машин, а в том, насколько эффективно эти машины будут решать практические задачи пользователей. Ответ на этот вопрос разработчики ищут в алгоритмах или математических описаниях и уравнениях, разрабатываемых для параллельных машин.

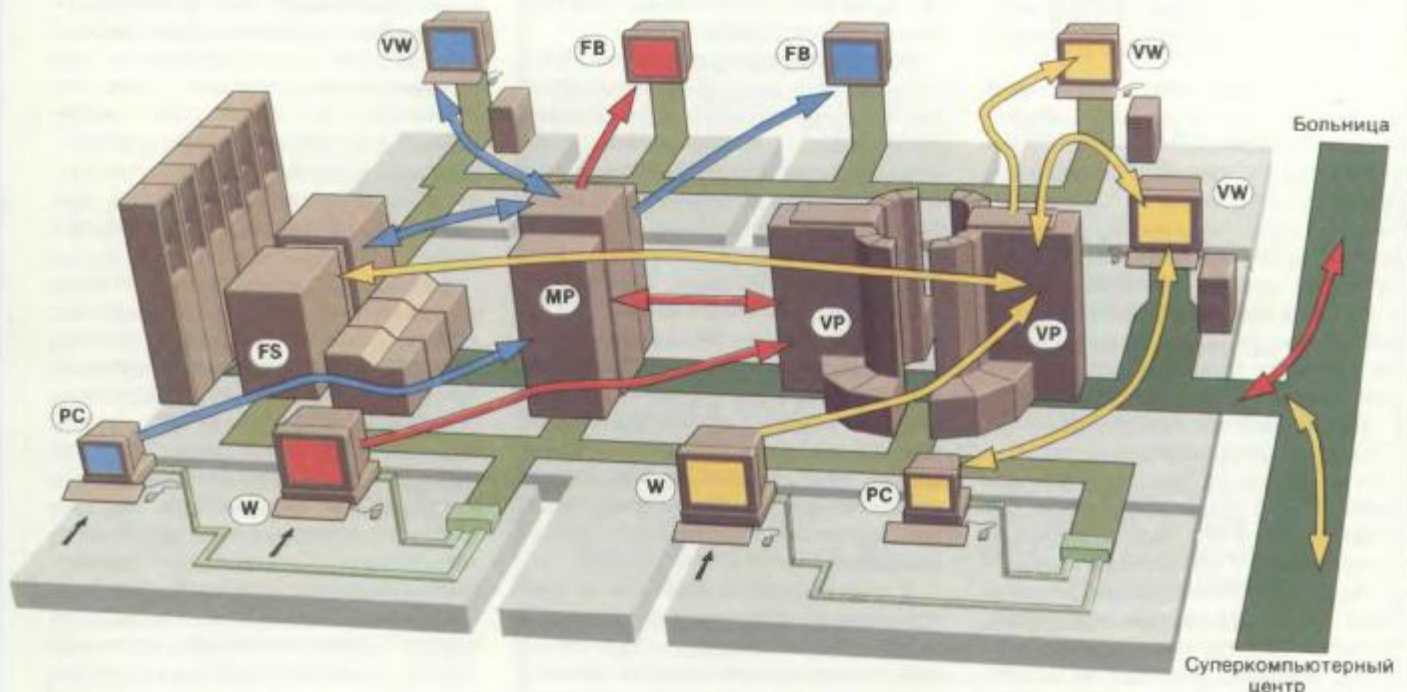
Немногие из существующих алгоритмов были рассчитаны на то, чтобы их можно было разбивать на

файлов, или хранилище данных. Высокоскоростной канал связи между сервером файлов и суперкомпьютером постоянно перекачивает информацию туда-сюда. После того как получены результаты, информация разгружается в специализированную рабочую графическую станцию, превращающую числовые данные в трехмерные изображения.

СИНИЙ: Другой ученый хочет получить фильм, описывающий течение астрофизической плазмы в трех измерениях. Поскольку здесь нужен расчет локального взаимо-

действия частиц в заданном объеме, он решает, что проще всего эти вычисления провести на высокопараллельном компьютере. Его коллеги могут наблюдать результаты на терминалах в своих кабинетах.

КРАСНЫЙ: Исследователь-медик анализирует плоские проекции мозга, полученные с помощью установки ЯМР в далеко расположенной больнице. Сначала исследователь, пользуясь векторным процессором, проводит экстраполяцию между срезами. Затем параллельный компьютер представляет данные в трех измерениях.



PC Персональный компьютер
W Рабочая станция
FS Сервер файлов
MP Высокопараллельный суперкомпьютер

VP Векторный суперкомпьютер
VW Рабочая станция для визуализации
FB Буфер кадров

10 Мбит/с
100 Мбит/с
1000 Мбит/с

Моделирование бури

Астрофизическая плазма

Медицинские наблюдения

отдельные, но одновременно решаемые компоненты. Новые, параллельные алгоритмы пока еще в основном находятся в стадии разработки. Более того, существует органическая связь между алгоритмами и машинами, которые должны их выполнять. «По мере того как математики и программисты переделывают алгоритмы, машины в свою очередь тоже претерпевают конструктивные изменения, — говорит Д. Соллмен, возглавляющий исследовательские программы в теперь уже прекратившем свое существование Национальном суперкомпьютерном центре им. Джона фон Неймана при Принстонском университете. — Архитектор конструирует машину, пользователь составляет для нее алгоритм, затем конструкция следующей машины модифицируется с тем, чтобы алгоритм мог выполняться эффективнее. Затем придумываются более быстрые алгоритмы, повышающие возможности машины, и так далее».

Хиллис и другие сторонники параллелизма указывают на то, что многие задачи по своей природе являются параллельными — просто в прошлом их не представляли в этом виде. Ч. Пескин, профессор Института Куранта при Нью-Йоркском университете, тоже придерживается этого мнения. Он потратил почти два десятилетия на разработку алгоритмов, описывающих динамику сердечного ритма.

Моделирование тока крови через клапаны требует огромного объема вычислительной работы. «Они прозвали меня человеком с двумерным сердцем», — говорит Пескин. В прошлом году, получив доступ к машине «Cray-2», он преобразовал свою расчетную модель, которая в новом виде стала способна формировать трехмерное, многоцветное изображение. Но даже теперь моделирование одного сердечного сокращения требует вычислений на суперкомпьютере «Cray-2» в течение более суток.

Хотя Пескин работал главным образом на векторных процессорах, он указывает, что его задача, по-видимому, обладает высокопараллельными свойствами: она требует решения одних и тех же систем уравнений, описывающих состояние многих сердечных волокон. Поэтому он надеется, что параллельная архитектура позволит ему ускорить вычисления и сделать модель более реалистичной.

Но хотя многие подобные задачи действительно параллельны по своей природе, все же маловероятно, чтобы степень параллелизма оказалась у них одинаковой. Поэтому архитекторы компьютеров должны предвидеть степень параллелизма будущих задач

и соответственно разрабатывать аппаратуру, которая в принципе была бы способна эффективно выполнять эти алгоритмы.

«Вы должны предвосхищать будущее, — говорит Смит из компании Tera. — Нужно создавать систему, основанную на модели вычислений, такой же универсальной, как однопроцессорная модель, так, чтобы ее потенциальные пользователи могли программировать в ее среде быстро и хорошо».

По этим причинам в компании Cray Research потенциальным клиентам, их нуждам, теперь уделяется больше внимания, чем когда-либо прежде. «Я дал нашим пользователям домашнее задание, — говорит С. Нельсон, возглавляющий группу специалистов Cray Research, занятых разработкой высокопараллельной системы. — Какой, по вашему мнению, должна быть сеть связи (между процессорами и памятью)?» Нельсон даже подумывает, чтобы прикомандировать несколько сотрудников своей компании к пользовательским вычислительным центрам с тем, чтобы они поработали над приложениями. На данной стадии он считает, что конструкция новой машины потребует нескольких тысяч процессоров, соединенных в сеть типа решетки или сеть «Омега», в которой применяются промежуточные переключатели между процессорами.

Фирма Intel избрала другой путь. Недавно был организован консорциум, в рамках которого американские университеты и научно-исследовательские институты создали новый суперкомпьютерный центр при Калифорнийском технологическом институте. Планируется оснастить этот центр первой машиной следующего поколения суперкомпьютеров фирмы Intel серии Touchstone. Центр получит существенную скидку, а вероятная цена машины составит 20 млн долл. за машину, производительностью 32 гигафлопа. В свою очередь фирма Intel должна извлечь выгоду из программного обеспечения, которое исследователи напишут для ее машины.

В дополнение к скорости и программному обеспечению, конструкторы суперкомпьютеров при создании коммерческого изделия должны принимать во внимание множество других факторов. Например, учитывать, что суперкомпьютеры должны обладать колоссальной памятью, чтобы справиться с большими задачами, и способностью быстро «перекачивать» огромное количество данных на входе и выходе. В настоящее время ни один из суперкомпьютеров «не сбалансирован», считает

М. Бервен, специалист по суперкомпьютерам из Superperformance Computing Service в Маунтин-Вью (шт. Калифорния). И хуже всего в этом смысле дело обстоит с параллельными машинами. «Знаете, сколько времени уходит на то, чтобы загрузить восемь гигабайт памяти? Это время измеряется часами».

Даже если высокопараллельные архитектуры выиграют соревнование в скорости, захочет ли большинство пользователей (научных работников, в особенности исследователей из частных компаний) иметь дело с этими машинами? «Я готов поспорить с Дэнни Хиллисом», — заявляет С. Белл, бывший главный конструктор рабочей станции «VAX» фирмы Digital Equipment в 70-е годы, а ныне ведущий исследователь в компании Stardent Computer Co., производящей графические рабочие станции. Белл утверждает: к 1995 г. суперкомпьютеры на векторных процессорах будут по-прежнему решать большую часть задач.

На самом деле параллельные архитектуры могут прекрасно сосуществовать с этими традиционными машинами. «Не существует какого-то одного технического решения, реализующего единственную наилучшую (вычислительную) систему», — отмечает Н. Коике, менеджер по исследованиям компании NEC. «Для разных систем будут создаваться различные архитектуры. Если взглянуть на расчетные задачи гидродинамики, то лучше всего для них подходит высокопараллельная, векторного типа машина. Для других приложений могут потребоваться нейронные сети или специализированные параллельные компьютеры».

В результате компании, производящие вычислительную технику, могут прийти к идее о продаже программно-аппаратных комплексов, предназначенных для решения конкретных, специализированных задач, например, таких, как создание моделей химических процессов. Возможно, что параллельные компьютеры никогда не станут универсальным инструментом, говорит С. Карин, возглавляющий суперкомпьютерный центр в Сан-Диего. Вместо этого «в будущем наряду с традиционными системами найдут применение гибкие суперкомпьютерные блоки, предназначенные для задач с большим объемом вычислений».

Возможно продвижению в этом направлении поможет эволюция сетей, передающих данные с очень высокими скоростями. В прошлом быстрое действие линий связи между компьютерами было недостаточным для того, чтобы можно было разделять

между ними вычислительные задачи (не ограничиваясь просто передачей файлов). В прошлом году был достигнут значительный прогресс в стандартизации интерфейсов и протоколов передачи данных, что позволит пользователям перекачивать по сетям сотни мегабайт в секунду.

Такие сети предоставят исследователям возможность разбивать большую задачу на части, которые должны решаться наиболее подходящими для этого архитектурами — различными суперкомпьютерами, специализированными процессорами, рабочими станциями, персональными компьютерами и так далее. Линии связи с другими машинами выйдут за пределы одного города или региона. В настоящее время проводятся финансируемые правительством испытания опытных образцов.

К середине 90-х годов также планируется создание сетей мощных рабочих станций, производительность которых будет измеряться гигафлопами. При условии, если компоненты задачи не потребуют слишком частого обмена данными друг с другом, «многие пользователи сочтут нецелесообразным применение компьютеров серии «Сгау», заявил П. Сэвидж, возглавляющий разработки в области суперкомпьютеров в компании Shell Oil в Хьюстоне (шт. Техас). «Это уже другой класс задач программирования. В ваше распоряжение отводится один из узлов в большом распределенном компьютере».

Объединение компьютеров несомненно ускорит развитие другой тенденции: объединение исследователей в коллективы. Карин убежден, что крупные проблемы, возникающие в связи с использованием суперкомпьютеров, будут анализироваться и решаться на основе сотрудничества. Подобно тому как в больницах есть специализированные группы врачей, хирургов и медсестер, работающих вместе во время операций, крупномасштабное компьютерное моделирование тоже может потребовать коллективных усилий.

Таким образом, переход к новой технологии вычислений, уже начинает оказывать влияние на природу научной деятельности. «Когда люди, оглядываясь в прошлое, будут анализировать развитие науки и техники в конце XX в., — предполагает Хиллис, — они будут говорить, что компьютеры в корне изменили жизнь людей подобно тому, как это в свое время сделал автомобиль. Возможно, не все результаты будут хорошими, но они будут в значительной степени оновополагающими».

Книги издательства „Мир“

С. Мурога СИСТЕМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВЕРХБОЛЬШИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ

В 2-х книгах
1985 г. Цена комплекта 3 р. 40 к.

С. Вайнберг ОТКРЫТИЕ СУБАТОМНЫХ ЧАСТИЦ

1986 г. Цена 80 к.

Х. Гиббс ОПТИЧЕСКАЯ БИСТАБИЛЬНОСТЬ. УПРАВЛЕНИЕ СВЕТОМ С ПОМОЩЬЮ СВЕТА

1988 г. Цена 5 р. 90 к.

А. Кадич, Д. Эделен КАЛИБРОВОЧНАЯ ТЕОРИЯ ДИСЛОКАЦИЙ И ДИСКЛИНАЦИЙ

1987 г. Цена 1 р. 40 к.

КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В АТМОСФЕРЕ

Под ред. Б. Хоскинса, Р. Пирса
1988 г. Цена 4 р. 90 к.

ПОСЛЕДСТВИЯ ЯДЕРНОЙ ВОЙНЫ. ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЭКОЛОГИЮ И СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

М. Харуэлл, Т. Хатчисон и др.
1983 г. Цена 5 р. 80 к.

СИСТЕМА САТУРНА СБОРНИК СТАТЕЙ

1990 г. Цена 8 р. 90 к.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В АСТРОФИЗИКЕ

Под ред. Дж. Сентрелла и др.
1986 г. Цена 4 р. 30 к.

Х. Холленд ХИМИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ОКЕАНОВ И АТМОСФЕРЫ

1989 г. Цена 7 р. 10 к.

АМОРФНЫЕ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ПОЛУПРОВОДНИКИ

Под ред. В. Хейванга
1987 г. Цена 1 р. 60 к.

Ж. Вертю, Ф. Куафе ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЕ РОБОТАМИ С ПОМОЩЬЮ ЭВМ

1989 г. Цена 1 р.

И. Зеленка ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РЕЗОНАТОРЫ НА ОБЪЕМНЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ. МАТЕРИАЛЫ, ТЕХНОЛОГИЯ, КОНСТРУКЦИЯ, ПРИМЕНЕНИЕ

1990 г. Цена 6 р. 70 к.

КИБЕРНЕТИЧЕСКИЙ СБОРНИК. вып. 27.

1990 г. Цена 2 р. 50 к.

КОСМИЧЕСКИЕ ДВИГАТЕЛИ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Под ред. Л. Кейвни
1988 г. Цена 4 р. 90 к.

КОСМИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, ВВЕДЕНИЕ В НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Под ред. Б. Фойербахера и др.
1989 г. Цена 5 р. 90 к.

Эти книги вы можете получить наложенным платежом, направив заказ по адресу: 191040 Ленинград, Пушкинская ул., 2, магазин № 5 «Техническая книга»



Мир невидимых организмов в компьютерной графике



А.К. ДЬЮДНИ

В ПЕРВЫЙ день 1991 г. по земному календарю межзвездный космический корабль «Армстронг» совершил посадку на четвертой планете звезды Тау Кита. Экипаж «Армстронга» обнаружил какое-то движение на северо-востоке и направил корабельную телекамеру на удаленную скалистую гору. Там на небольшом уступе они увидели гнездо из кристаллов горной породы и яйцо, по форме напоминающее пирожное «бизе». Яйцо начало распадаться и из него показалось змееподобное существо в виде двух переплетенных колец. Корабельный биолог тут же окрестил его «горгоноидом». Когда вездеход приблизился к скале, чтобы поближе рассмотреть горгоноида, существо оцепенело в испуге, а затем, соскочив со скалы, бросилось в ацетиленовую реку.

Конечно, горгоноиды — это из мира научной фантастики, однако изображение этого чудовища скрыто в компьютере Исследовательского центра им. Томаса Дж. Уотсона корпорации IBM. Клиффорд А. Пикоувер, графи-

ческий волшебник из IBM, создал инопланетное существо, которое я назвал горгоноидом, чтобы продемонстрировать новые мощные средства компьютерной графики. Он разработал эти методы с целью оказания помощи другим ученым в визуализации сложных форм, порождаемых физическими явлениями или выведенных из теории. Пикоувер, о микроскопических биоморфах которого мы писали на страницах нашего журнала в сентябре 1989 г., характеризует свои изображения как «графику невидимого мира» (см. рисунок на с. 81).

Хотя яйцо горгоноида выглядит как инопланетная форма жизни, на самом деле оно представляет собой модель, основанную на физических принципах, открытых в земных лабораториях. Если убрать «скорлупу», мы увидим скелетную основу яйца, состоящую из двух тонких трубочек. Одна изогнута в форме окружности, вторая же намотана на окружность в виде замкнутой спирали. Если бы трубочки были заряжены и имели некоторый потенциал, то возникло бы электрическое поле; особенно высокая напряженность наблюдалась бы вблизи трубчатого каркаса, в более удаленных точках напряженность постепенно убывала бы. Компьютерная программа Пикоувера находит все точки, имеющие определенный уровень напряженности поля, и затем представляет их в виде скорлупы яйца горгоноида. Сам Пикоувер называет свой метод создания изображения потенциаловой скульптурой.

Искусством потенциаловой скульптуры Пикоувер занимается для того, чтобы научиться изображать различные атомные структуры — от одиночной молекулы до сложнейшей спирали ДНК. Поскольку потенциаловая скульптура изображает электрические поля, окружающие молекулы, исследователи получают возможность определять, каким образом в одних живых клетках образуются молекулы структурно соответствующие

(комплементарные) рецепторам на других клетках.

Молодой горгоноид не является продуктом потенциальной скульптуры, скорее его можно охарактеризовать как червячное ожерелье. Подобно яйцу, горгоноид построен на двух трубчатых контурах, один из которых наматывается на другой. Чтобы придать горгоноиду телесную оболочку, Пикоувер украшает трубочки сферическими бусинками: большими для круговой трубочки и маленькими для спиральной. Бусинки равномерно распределены на трубочках, причем соседние бусинки частично заходят друг в друга.

Взрослый горгоноид представляет собой ожерелье из трех трубочек: первая охватывает вторую, а вторая в свою очередь охватывает третью. Горгоноид имеет также глаз, образованный тремя почти концентрическими сферами, пересекающимися так, что радужка глаза принадлежит одной сфере, а зрачок — другой.

Такой горгоноид способен обнаруживать хищника на расстоянии одной мили, несмотря на аммиачный туман — это очень важно для выживания в среде, населенной пэкмантисами. Это чашеобразное существо проводит половину времени, греясь в лучах Тау Кита. Однако, когда пэкмантис голоден, он начинает быстро кататься по поверхности, открывая и закрывая рот, подобно персонажу известной компьютерной игры «Пэкман» (Pac-man).

Анатомия пэкмантиса не сложнее морфологии горгоноида. Чтобы оживить пэкмантиса, Пикоувер создал компьютерный маятник. Он моделирует шарик, прикрепленный к концу жесткой проволоки, на другом конце которой находится шарнир, позволяющий проволоке свободно раскачиваться в любом направлении.

Первоначально шарик с определенной скоростью отходит в сторону и затем под действием гравитации возвращается. Пройдя путь туда и обратно, он прибывает в точку, находящуюся на некотором расстоянии от точки старта. В ходе дальнейших колебаний шарик покрывает большую часть пространства в пределах сферы возможных положений.

Во время движения маятника компьютер Пикоувера периодически делает фотоснимки шарика. При одновременном изображении множества положений шарика, они образуют некоторую оболочку. Поворачивая оболочку на 90°, мы получаем изображение пэкмантиса в нужной ориентации.

Хотя пэкмантис время от времени поедает горгоноидов, предпочтительной для него пищей являются тьюба-

ОТВЕТЫ К СТАТЬЕ В ЖУРНАЛЕ № 1

В статье январского номера я предложил читателям поупражнять «мышцы» своего интеллекта и сформулировал три маленькие задачи. Первая: если некто тасует три карты: туза, короля и даму, кладет их картинкой вниз, удаляет наугад одну карту, а затем поднимает одну из оставшихся, то вероятность того, что это будет туз, равна $1/3$, т. е. остается той же, как если бы ни одна из карт не была удалена. Вторая: доказательство того, что никто не работает, неверно в принципе. По ходу этого доказательства яблоки (8-часовые рабочие дни) вычитаются из апельсинов (24-часовых рабочих дней). И наконец, если бутылка и пробка вместе стоят 1 долл. 10 центов и бутылка на 1 долл. дороже пробки, то пробка стоит 5 центов.

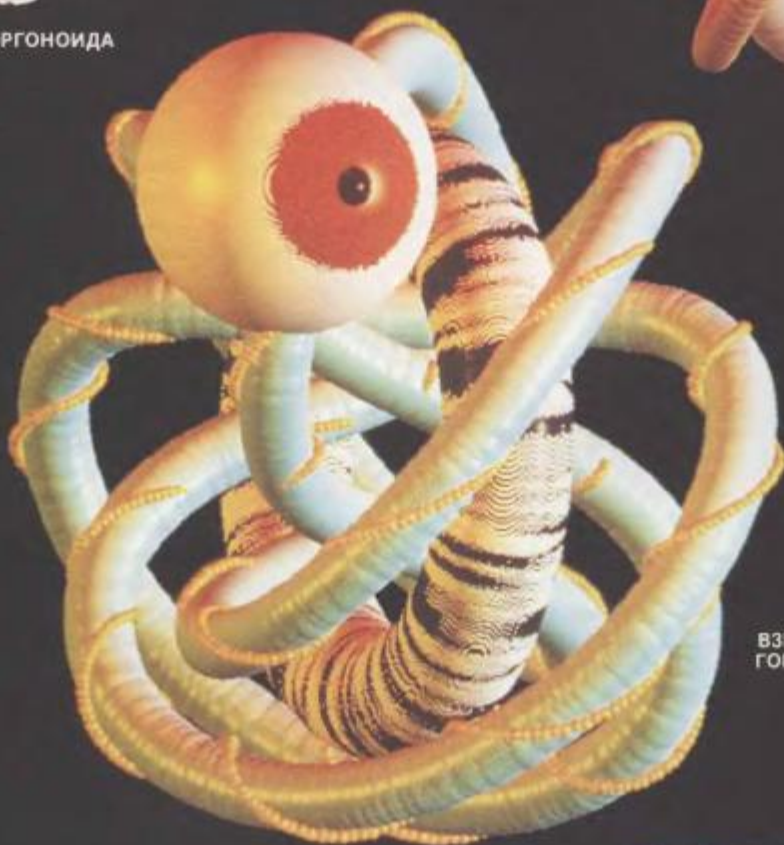
ОРГАНИЗМЫ НЕВИДИМОГО МИРА, СОТВОРЕННЫЕ КОМПЬЮТЕРОМ



яйцо горгоноида



молодой
горгоноид



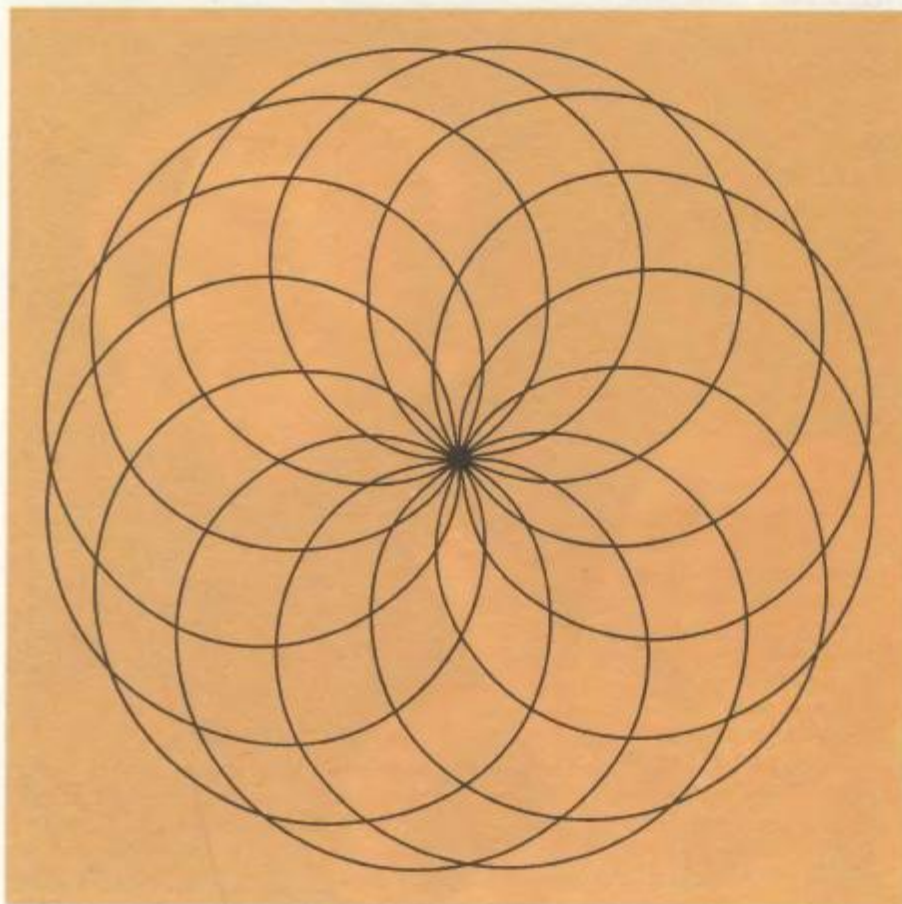
взрослый
горгоноид



т्यूбанид



пэкмантис



Сферическая фигура Лиссажу

ниды, обитающие в аммиачных океанах. Эти сочные моллюски напоминают некоторых головоногих, населявших Землю в мезозойскую эру. Тюбаниды имеют красивую полосатую раковину, которая начинается открытой простой спиралью, но затем загибается, замыкаясь сама по себе. Из-за такой неуклюжей раковины тюбаниды плохо плавают и становятся легкой добычей пэкмантиса.

Тюбаниды — это результат сотрудничества Пикоувера с австралийским биологом Крисом Иллертом. И тот и другой изучали очень любопытное ископаемое головоногое *Nipponites mirabilis*. Большинство родственных ему организмов, включая ныне живущий *Nautilus*, имеют панцирь в форме логарифмической спирали, позволяющий животному плавно скользить по воде. На ранних стадиях роста раковина организма *N. mirabilis* развивается аналогично другим родственным головоногим, но затем начинает загибаться и закручиваться во всех направлениях. Иллерт надеялся исследовать такие необычные процессы роста, отыскивая математические описания спиралей с нерегулярным шагом.

Ему удалось найти формулу, которая имела простую интерпретацию.

Ориентация отверстия раковины определяет направление ее роста. При обычном спиральном росте ориентация отверстия остается фиксированной по отношению к прилегающим кольцам раковины. Однако рост организма *N. mirabilis* можно хорошо смоделировать, если отверстие раковины вращать по экспоненциальному закону: по мере роста раковины отверстие вращается все с большей амплитудой. Эта гипотеза в результате дает раковину, характерную для молодого *N. mirabilis*, и закрученную, неправильной формы спираль — для животного старшего возраста.

Пикоувер и Иллерт показали, что их тюбанида является хорошей моделью взрослой особи *N. mirabilis*. Чтобы придать тюбаниде реалистичный вид в трех измерениях, Пикоувер воспользовался методом червячного ожерелья. Окраска тюбаниды была выполнена чередованием ярко-красных и белых сфер.

Идея методов червячного ожерелья и скульптуры потенциала действительно так же проста, как было описано выше, однако уместно напомнить о предупреждении автора: «Не пытайтесь это проделать дома!» Пикоувер имеет в виду, что для этого необходим доступ к компьютерам, спе-

циально предназначенным для графических приложений. Его компьютерная система может автоматически затенять и скрывать поверхности; она может показывать свет, отраженный поверхностью от нескольких источников, она может в мгновение ока показать трехмерное изображение любого объекта под любым углом зрения. Поэтому оболочки для существ Пикоувера создаются всего лишь несколькими ударами по клавиатуре компьютера.

Но хотя эти средства и отсутствуют в домашних компьютерах, Пикоувер не станет отговаривать читателей (программистов-любителей) от других, не менее интересных графических упражнений, а именно построения так называемых сферических фигур Лиссажу (см. рисунок слева). В 1857 г. французский математик Антуан Лиссажу впервые описал эти синусоидальные фигуры, которые теперь часто можно видеть на экранах осциллографов. Одиночная фигура Лиссажу создается на экране светящейся точкой, движущейся по определенной замкнутой траектории.

Сферические фигуры Лиссажу обладают теми же свойствами, что и их двумерные родственники, за исключением того, что они лежат на поверхности сферы. Чтобы представить эту трехмерную кривую в каждом из трех измерений, нужно составить три независимых уравнения, каждое из которых имеет одну и ту же переменную t , которую можно представить как время:

$$\begin{aligned}x &= R \sin(At) \cos(Bt) \\y &= R \sin(At) \sin(Bt) \\z &= R \cos(At)\end{aligned}$$

Здесь R , A и B — константы. При каждом значении t эти формулы задают одну точку в трехмерном пространстве. По мере того как t возрастает (т. е. проходит время), формула порождает последовательность точек, лежащих на кривой — сферической фигуре Лиссажу.

Подбирая определенные значения констант R , A и B , задающих частоты колебаний кривой, можно создавать самые причудливые фигуры. Кривая обязательно должна замкнуться, за исключением того случая, когда A или B — иррациональные числа, но такая ситуация едва ли возможна в условиях построения на компьютере.

Читатели могут написать простую компьютерную программу, чтобы наблюдать сферическую кривую Лиссажу на плоском экране. Сначала программа предложит задать значения R , A и B . Затем она должна войти в

цикл, в котором значение t возрастает, скажем, с 1 до 1000. Для каждого значения t программа должна вычислить x и y по первым двум формулам. Координата x будет получаться, например, умножением R на $\sin A$, умноженное на t , а затем на $\cos B$, умноженное на t . Наконец, программа должна отобразить точку с координатами (x, y) на экране компьютера.

Этот алгоритм следует дополнить некоторыми замечаниями. Во-первых, значения x и y необходимо специально модифицировать так, чтобы отображаемая точка оказалась в пределах экрана. В случае надобности можно прибавить подходящую константу. Во-вторых, значения t иногда следует изменять более плавно, чтобы получить на экране сплошную линию, а не цепочку изолированных точек, далеко отстоящих друг от друга.

Пикоувер с восторгом оценивает потенциальные возможности как своих, так и других подобных методов,

которые помогут не только ученым, но и художникам. Он приводит примеры, когда художники уже прибегали к использованию возможностей компьютерной графики, ссылаясь на работу У. Лэйзема из Английского научно-исследовательского центра IBM, Дж. Льюиса из Нью-Йоркского технологического института и Донны Кокс из Национального центра применения суперкомпьютеров при Иллинойском университете в Урбана-Шампейне. Поскольку электронные устройства становятся все более миниатюрными и быстродействующими, то даже компьютеры, подобные изолированной системе Пикоувера, по размерам, так и по цене для более широкой публики. Наука и искусство многое выиграют по мере того, как на свет будет появляться все больше графических чудес из жизни невидимых миров.

Наука и общество

Победить слабость

ОДНО ИЗ САМЫХ распространенных наследственных заболеваний опорно-двигательного аппарата — мышечная дистрофия Дюшенна (МДД) — пока что не лечится и неизбежно ведет к смерти. Однако в последнее время появились некоторые основания для надежд. Две группы исследователей независимо друг от друга обнаружили факты, свидетельствующие о том, что МДД является результатом аномального функционирования каналов для ионов кальция в клеточной мембране мышечных волокон. Если действительно центральную роль в заболевании играют кальциевые каналы, то именно они должны стать мишенью медикаментозной терапии.

По данным Ассоциации по дистрофическим заболеваниям мышц, среди новорожденных 0,03% мальчиков страдают МДД. (Эта болезнь обусловлена генетическим дефектом, локализованным в X-хромосоме, которая у мужчин имеется в единственном числе, а у женщин парная.) В начале второго года жизни заболевание начинается проявляться слабостью в конечностях; со временем состояние постепенно ухудшается, что ведет к потере способности двигаться. Больные МДД редко живут более 25 лет.

Хотя ген, обуславливающий МДД, был выявлен еще в 1986 г., механизм развития заболевания оставался загадкой. Предполагалось, что у боль-

ных из-за дефекта этого гена очень низкий уровень синтеза белка дистрофина, связанного с мембраной мышечной клетки. Ясно, что недостаток этого белка ведет к дистрофии мышц, но его функция была совершенно непонятной.

Р. Стайнхардт из Калифорнийского университета в Беркли получил данные, указывающие на роль дистрофина в регуляции поступления ионов кальция в мышечные клетки через специализированные мембранные каналы. Ионы кальция могут активировать протенназы (ферменты, расщепляющие белки), что приводит к повреждению клеток. Первый намек на решение загадки МДД возник в 1988 г., когда Стайнхардт с сотрудниками обнаружили, что в мышечных клетках при отсутствии дистрофина концентрация свободных ионов кальция вдвое выше, чем в норме. Было также показано, что, снижая концентрацию кальция во внеклеточной среде, можно уменьшить его содержание внутри клеток и замедлить расщепление клеточных белков.

В прошлом году Дж. Лэнсман из Калифорнийского университета в Сан-Франциско и Стайнхардт описали ранее неизвестные кальциевые каналы в мышечных клетках. Эти каналы отличаются от хорошо изученных кальциевых каналов, зависящих от электрического потенциала, которые открываются при нервной стимуляции мышечного сокращения. В апреле 1990 г. была опубликована работа

Лэнсмана с коллегами: в ней сообщалось о кальциевых каналах в мембранах мышечных клеток мышц, которые открывались или закрывались в различной степени в зависимости от растяжения мышечного волокна. А в ноябре Стайнхардт объявил, что в мышечных клетках мышц и человека найдены "протекающие" мембранные каналы для ионов кальция. Обе исследовательские группы показали, что, если в клетке нет дистрофина, эти каналы открыты при прочих равных условиях гораздо дольше, чем при наличии дистрофина. Обнаружили ли Лэнсман и Стайнхардт одни и те же каналы? Этот вопрос является сейчас предметом горячих споров. Но несмотря на разногласия, сложилось общее мнение, что можно было бы лечить МДД, блокируя нерегулируемые кальциевые каналы в мышцах.

«Конечно, было бы прекрасно, если бы нашлось средство, прицельно бьющее по этим каналам», — говорит Лэнсман. Это позволило бы подбирать лекарственные препараты, блокирующие соответствующие каналы. Несколько лет назад была предпринята безуспешная попытка лечить МДД путем блокирования кальциевых каналов, зависящих от электрического потенциала. «Теперь понятны причины неудачи: это просто не те каналы», — замечает Лэнсман.

Надежду на излечение МДД дает генотерапия, предполагающая введение функционального гена дистрофина в пораженные мышечные клетки. По мнению Стайнхардта, обнаружение новых кальциевых каналов создает возможность для испытания генотерапевтического подхода на культурах клеток. «Нет нужды убеждаться в наличии самого дистрофина. Достаточно проверить, регулируется ли активность кальциевых каналов», — поясняет он. Сейчас Стайнхардт и его коллеги совместно с другими исследователями готовятся провести такие эксперименты. Однако многие специалисты далеко не уверены, что Лэнсман и Стайнхардт попали в точку, т. е. выявили ключевой дефект, вызванный нехваткой дистрофина. Так, высказывалось предположение, что аномальные уровни кальция — это лишь один из результатов общей нестабильности клеточных мембран в пораженных мышцах. Э. Хоффман из Питтсбургского университета (он один из тех, кто идентифицировал дистрофин) отмечает: «Почти все мембранные каналы "протекают", все ионы и ферменты переходят из клетки в окружающую среду и обратно. Я не думаю, что развитие заболевания объясняется этими новыми кальциевыми каналами».

Цветущая Гондвана; звездные карты; путешествие в тропиках



ФИЛИП MORRISON

Мэри Е. Уайт. ЦВЕТУЩАЯ ГОНДВАНА THE FLOWERING OF GONDWANA, by Mary E. White. Photography of fossils by Jim Fragier. Princeton University Press, 1990 (\$ 49.50)

РАСТИТЕЛЬНЫЙ мир Австралии, также как и мир животных, весьма своеобразен. Удиви-

тельные эвкалипты доминируют во многих районах этого континента. «Если какой-либо континент можно... охарактеризовать по аромату», то Австралию символизирует запах масел эвкалиптовой листвы. На одной из великолепных фотографий виден очаровательный эвкалипт Папуана и его розовые цветки с желтой пылью, легко доступной для птицы-медоноса, а



Только в Австралии можно увидеть *Petrophile linearis*, представителя древнего семейства растений Гондваны — *Proteaceae*.

не для пчел, которых здесь не так много. На снимках мы видим также золотистые и пушистые цветки акаций и других растений.

Гондвана — это название, данное огромному южному суперконтиненту, где в древние времена бок о бок друг с другом находились Южная Америка, Африка, Антарктида, Австралия и большая часть Южной Азии. «Гондвана» происходит от названия племени гондов и района Индии Вана.

Эта увлекательная книга помимо текста, изложенного ясным и доступным языком, содержит около 400 больших цветных фотографий современных и ископаемых растений, полный набор необходимых карт, а также множества схем и графиков. Автор, живущая в Сиднее, считает, что она была рождена, чтобы стать ботаником. И на это у нее есть все основания: ее родителями был написан труд «Флора Южной Африки», и вот теперь она сама представляет нам лучшую книгу по палеоботанике, которую я когда-либо держал в руках, книгу, базирующуюся на собственном профессиональном опыте автора и изучении ископаемых остатков в течение более 35 лет. Большую помощь Мэри Уайт оказали ее коллеги.

На плоскогорьях Австралии — а это самый плоский и самый маленький из континентов — находятся некоторые из древнейших горных пород на планете. Там можно встретить самые первые признаки жизни на Земле, представленные в ископаемых строматолитах, которым насчитывается 3,5 млн лет. Гондвана имеет очень древнюю историю. Повествование охватывает период около 600 млн лет. В те далекие времена моря и прибрежные волны изобиловали живыми организмами, но «суша была еще безжизненной». Затем по берегам появилась растительность, которая постепенно завоевала всю сушу и «цветение покрыло всю землю».

Аргументация, которой пользуется автор, может служить примером, иллюстрирующим развитие науки по спирали. Когда Джозеф Хукер, наставник и коллега-ботаник Дарвина, собирал гербарии в Австралии, он считал, что родственные формы, которые находили или находят в отдаленных друг от друга местах, свидетельствуют о том, что водные пространства не были преградой для некоторых видов. Агатис новозеландский является одним из примечательных южных хвойных деревьев, которые произрастают сегодня во влажных тропических лесах в прибрежных районах Австралии. Одна из разновидностей этого представителя хвой-

ных растений довольно необычна: на ней можно заметить две соединенные белые шишки, которые расположились среди зеленых листьев овальной формы. Такие же деревья произрастают сегодня в Аргентине, на Фолклендах, у мыса Доброй Надежды, на острове Кергелен, расположенном на полпути к Австралии, в Новой Зеландии и больше нигде.

Прежде ботаники считали это доказательством того, что когда-то, по видимому, существовал некий «мост» через бурный океан, ведь сосны не умеют плавать (Дарвин проверял семена на выживаемость в морской воде.) Континенты, очевидно, были соединены между собой, но каким образом — этого ботаники прошлого знать не могли. Еще более убедительными представляются утверждения палеоботаника. В книге приводится фотография крупным планом, на которой изображена ископаемая веточка агатиса новозеландского, отпечатавшаяся на камне, который был когда-то дном древнего озера, находившегося неподалеку от Сиднея. На снимке видны следы мелких и незрелых шишек, которые и в наше время каждый сезон опадают с деревьев этого вида. Таких влажных тропических хвойных лесов было много в Австралии 175 млн лет назад. Но далеко от этого континента, в Южной Африке, в скальных породах этого же периода находят многочисленные отпечатки цветочной пыльцы, которая, совершенно очевидно, принадлежит этим южным хвойным деревьям.

Подобно ученым IX в., занимавшимся географией растений, автор не пытается использовать для доказательства своей правоты аргументы, касающиеся сейсмических эпицентров, магнитных записей или других физических свидетельств континентального сдвига. Хотя такие свидетельства достаточно многочисленны и весьма убедительны, они тем не менее не являются решающими. Как еще можно обосновать то, что на пяти южных массивах суши, теперь разделенных океанами, произрастают одинаковые древние нецветущие леса? Единственный дополнительный аргумент, который требуется, это достаточно достоверная корреляция по времени. Первыми, кто предложил свою, хотя, возможно, не во всем убедительную версию, были ботаники. Уайт уверенно оперирует датами, данными о климатических условиях и местоположении в том, что касается появления и нарушения «сухопутных маршрутов». Это служит ей подспорьем для обоснования географического аспекта вопроса в сложных и убедительных логических построениях,

базирующихся на изучении ископаемых как невооруженным глазом, так и под микроскопом.

Первые свидетельства цветения относятся к периоду около 140 млн лет назад, когда трещина в районе Южной Атлантики привела к тому, что выступ (территория современной Бразилии) отошел от Гвинейского залива. В этих районах оставили следы пыльцы самые первые цветы, похожие на магнолию и лавр. Однако еще раньше цветущие растения распространились в северном и южном направлениях. Позднее они достигли Австралии через Южную Африку, где 50—60 млн лет назад растительность была такой же, как в Австралии и Новой Зеландии того периода. Последним звеном оставалась ледяная Антарктида.

Каким образом получилось так, что эвкалипт и акация, лишенная шипов, которые нигде больше не встречаются, теперь доминируют в Австралии и Новой Зеландии? Почему бы им не быть переселенцами из дальних стран? Ясный ответ на этот вопрос запечатлен в камне и на карте: когда на скалах Австралии появилась первая эвкалиптовая пыльца, все контакты с другими массивами суши были нарушены уже по крайней мере 30 млн лет назад. Древняя Гондвана распалась, и Австралия удалась и «занялась» формированием собственного образа.

С тех пор этот континент был не просто Ноевым ковчегом, а одиноким Эдемом. Со временем Австралия станет родиной новых форм из числа переселенцев, родившихся во время путешествия. Злаковые травы вовремя попали в ковчег, в котором находились сумчатые. В итоге луга дадут возможность «первым сумчатым... совершать короткие скачкообразные прыжки», которые в дальнейшем стали увереннее и превратились в более размеренные движения кенгуру. Завершают хронику такие удивительные цветущие растения, как приземистая желтосмолка, встречающаяся в пустынях и лапа кенгуру. Треугольник Индии уже давно отошел в сторону и стал неотъемлемой частью огромной Азии, а «швартовка» Австралии еще продолжается, хотя только вчера самые проворные из млекопитающих со своими семействами перепрыгнули через уменьшающийся пролив.

Ричард Монкхаус и Джон Кокс. ОБЪЕМНЫЕ КАРТЫ ЗВЕЗДНОГО НЕБА 3-D STAR MAPS, by Richard Monkhause and John Cox. Harper & Row, Publishers, 1989 (\$ 15.95)

За пределы Солнечной системы можно проникнуть только с помощью мощных средств, имеющихся в распоряжении современной астрономии. Блестящая работа двух лондонских ученых, выполненная с применением компьютерной графики и современной полиграфии, дает нам возможность созерцать волшебное объемное изображение звезд и галактик. В книге содержится более двадцати стереостраниц (с красными и зелеными пунктирами на фоне сероватой земли), дающих поразительное ощущение глубины. Этот эффект достигается благодаря использованию картонных очков, в которых правое стекло — зеленое, а левое — красное. Две пары таких очков прилагаются к книге.

Каждая стереостраница снабжена ключевой картой (помещающейся на черном фоне), которая сопровождается подробными примечаниями. На одной подборке карт изображены яркие звезды всего неба, на другой — все ближайшие звезды, большинство из которых могут быть с трудом обнаружены с помощью телескопа. В третьей подборке — далекие галактики и их скопления, расстояния до которых определяется величиной красного смещения. Воспринимаемая глубина позволяет представить необходимые пропорции и масштаб на плоскости страницы. Карты еще более оригинальны: расстояния представлены не линейно, а логарифмически, что позволяет показать огромный диапазон космических масштабов.

Профессор Монкхаус преподает программирование в Лондонском императорском колледже, а его коллега Кокс — художник и программист одновременно. Их книга содержит богатый графический и текстовый материал по астрономии, изложенный лаконично и без пространных таблиц, но заставляющий мыслить. Приводятся координатные сетки, яркие звезды классифицируются с использованием различных цветов, дается информация об оценке методов определения расстояния. Книга изобилует множеством новинок, которые могут привлечь внимание астрономов-любителей.

Джон Кричер. ПУТЕВОДИТЕЛЬ ПО НЕОТРОПИКАМ: ФЛОРА, ФАУНА И ЭКОСИСТЕМЫ ТРОПИКОВ НОВОГО МИРА A NEOTROPICAL COMPANION: AN INTRODUCTION TO THE ANIMALS, PLANTS AND ECOSYSTEMS OF THE NEW WORLD TROPICS, by John C. Kricher. Princeton University Press, 1989 (\$ 47.50; paperbound, \$ 16.95)

В наши дни реактивные лайнеры ежедневно взлетают с аэродромов се-

верных стран для того, чтобы через несколько часов приземлиться в мире тропиков. Едва ли не каждый любитель путешествовать мечтал побывать в зеленых дебрях, столь прекрасно описанных еще Александром фон Гумбольдтом, Уильямом Бидом и П. У. Ричардсом, а также современными авторами, в работах которых говорится и о тех переменах, которые не могут не вызывать нашего беспокойства.

Автор книги — биолог, изучающий природу Новой Англии, — длительное время провел во влажных тропических лесах. Его книга — это увлекательный путеводитель по тропикам. Проницательный взгляд автора помогает почувствовать целостность всего этого мира, полного яркого многообразия. Почему природа тропиков столь богата? Наши теории также многообразны, но далеко не убедительны. Возможно, биологиче-

ское многообразие само стимулирует свой дальнейший бурный рост благодаря «взаимной эволюции» в богатом мире взаимодействующих организмов.

В тропиках вы можете встретить тукуана и кетсаль, священное для майя дерево капок, птиц гуахаро, крики которых наполняют темные пещеры на Тринидаде, мохнатых ленивцев и вызывающе ярких золотистых и малиновых ядовитых лягушек. Идущие на водопой стада животных на несколько минут нарушают кажущееся спокойствие леса. Надолго могут запомниться замечательные своим ужасным видом гигантские тараканы, появившиеся в луч карманного фонарика. В этом сиюминутном мире благодаря быстрому обмену питательных веществ обеспечивается существование многих организмов, действующих с экономичностью, которую можно сравнить с автомобилем «Тойота».

чале прошлого года, когда Г. Пэттон и его коллеги из Исследовательского центра Томаса Дж. Уотсона фирмы IBM сообщили, что они изготовили транзистор на основе сплава кремния и германия с частотой переключения 75 млрд циклов в секунду, то есть почти вдвое выше по сравнению с быстродействием структур из чистого кремния; значение этого параметра близко к характеристикам экспериментальных транзисторов, изготовленных из соединений элементов III и V групп периодической таблицы. В декабре прошлого года фирма IBM должна была представить подробную техническую документацию на составление простых схем из таких транзисторов.

Добавление германия позволило IBM получить запрещенную зону в кремнии, которая в практических целях используется в соединениях элементов III и V групп периодической таблицы. Запрещенная зона — это величина энергии, необходимая для того, чтобы внешние (валентные) электроны атомов кристаллической решетки могли перейти в высшее энергетическое состояние — в зону проводимости, где они могут свободно двигаться и проводить ток. Создание разрыва между валентной зоной и зоной проводимости может существенно улучшить эксплуатационные характеристики электронных устройств.

На основе этого метода фирма IBM создала биполярный транзистор, аналогичный по конструкции тем, которые используются в наиболее мощных универсальных компьютерах той же фирмы. База этого транзистора (область, регулирующая протекание тока через кристалл) изготовлена из упомянутого сплава. Использование германия, запрещенная зона которого меньше, чем у кремния, позволяет обеспечить переход большего количества электронов от эмиттера к коллектору. За счет постепенного увеличения содержания германия в толще базы исследователи создали разность потенциалов, под действием которой электроны движутся с большой скоростью.

Метод запрещенной зоны позволяет использовать не только германий, но и многие другие материалы, которые способны соединяться с кремнием, создавая запрещенные зоны с заранее заданными параметрами. «Если нам удастся добиться этого со сплавом кремния и германия, наши перспективы расширятся, — с энтузиазмом заявил Дж. Мейер, руководитель программ научных и технических проблем в области микроэлектроники Корнеллского университета. — Имея

Наука и общество

Кремний второго поколения

КАКОВО БУДУЩЕЕ кремния, полупроводника, на основе которого были созданы суперкомпьютеры «Cray» и поздравительные открытки с мелодией «Silent Night»? Специалисты в области материаловедения задаются вопросом: удержит ли кремний завоеванные позиции в том уже недалеком будущем, когда суперкомпьютеры небольших габаритов можно будет купить в любом магазине бытовой электроники?

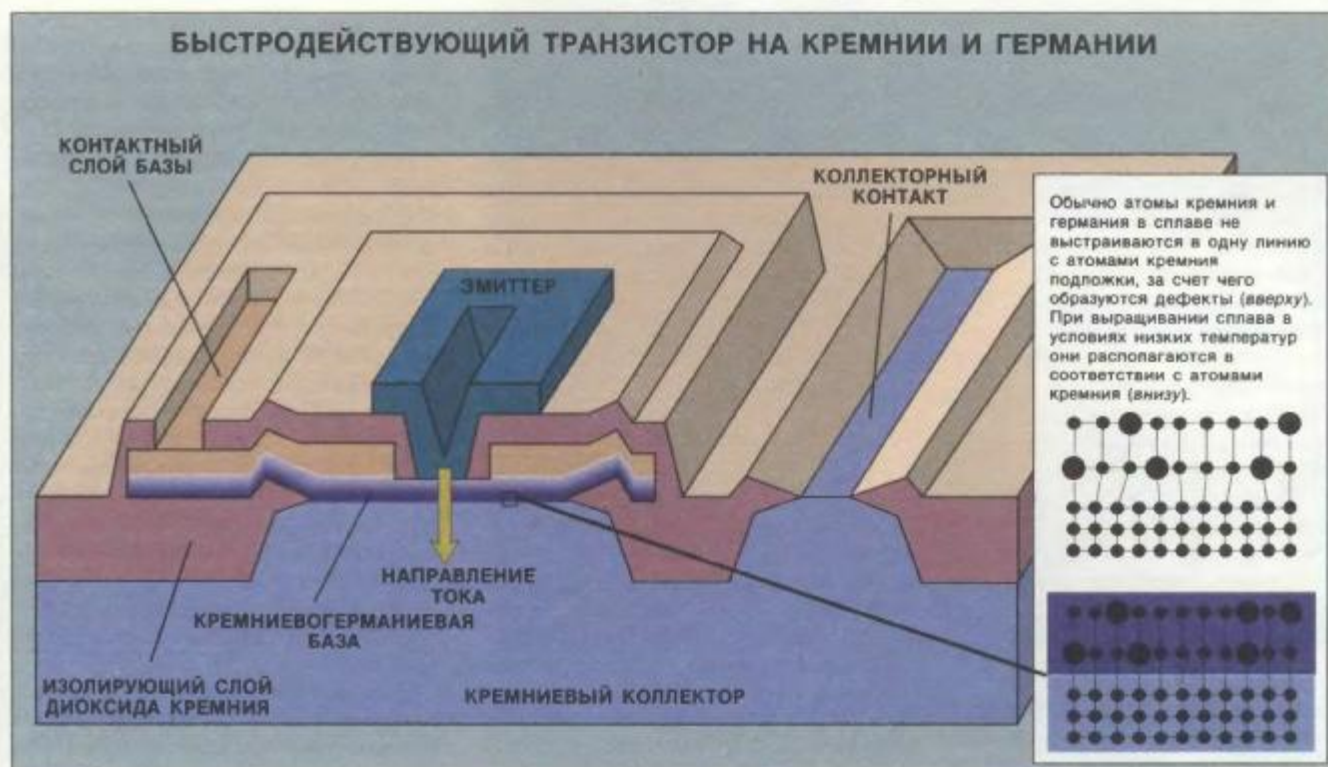
Дело в том, что скорость движения электронов в кремниевом кристалле ниже, чем в арсениде галлия и других соединениях, полученных из элементов третьей и пятой групп периодической таблицы. Кремнию также свойственны недостатки, чрезвычайно затрудняющие световое излучение, и в этом он уступает арсениду галлия, который благодаря этому преимуществу может успешно использоваться в устройствах, где носителями подвергаемой обработке информации являются фотоны.

Но несмотря на «медлительность» кремния, у него есть шансы выиграть соревнование с другими соединениями, учитывая легкость изготовления из него транзисторов и других устройств. Преимущество кремния заключается в том, что в чистом помещении его легко расщепить на крупные пластины, на поверхности которых при нагревании образуется слой

двуокиси кремния, которая служит естественным диэлектриком и потому может использоваться для изготовления шаблона в процессе формирования рисунка схемы фотолитографическим способом. Ни арсенид галлия, ни другие соединения из элементов III и V групп периодической таблицы не могут сравниться с кремнием в легкости изготовления электронных устройств, чем и объясняется их недостаточно широкое распространение, несмотря на наличие привлекательных электронных и оптических свойств. «Кремний хорошо изучен, и он удобен в производстве, — отмечает Л. Фелдман, руководитель исследований физических свойств тонкопленочных структур в AT&T Bell Laboratories. — Именно по этим причинам группа наших специалистов старается расширить область применения этого материала».

Одним из путей продления «жизни» кремния является его комбинирование с другими материалами. Исследователи из Bell Labs., IBM и других фирм доказали, что, несмотря на обычно плохую сочетаемость кремния с кристаллическими решетками большинства других материалов, сплав кремния и малых количеств германия достаточно эластичен и может быть выращен на чистой кремниевой основе без дефектов.

Воплощение этой идеи, представляющей большой практический интерес, было продемонстрировано в на-



дело с кремнием, мы можем адаптировать технологию, которая в течение последних 15 лет разрабатывается для арсенида галлия».

Работы по улучшению свойств кремния могут даже привести к использованию его в качестве компонента оптоэлектронных схем. Благодаря наличию запрещенной зоны в кремнии он, как правило, излучает больше тепла, чем света, и потому повсеместное присутствие этого материала в электронных приборах могло бы сделать кремний идеальным средством для одновременной передачи оптических и электрических сигналов как в самом кристалле, так и между кристаллами или отдельными пластинами.

Одним из путей превращения кремния в основной материал оптоэлектроники является соединение его с арсенидом галлия или каким-либо другим материалом из элементов III и V групп периодической таблицы. Однако соединить арсенид галлия с кремнием далеко не просто. Первые попытки нанести арсенид галлия на кремний оказались неудачными, так как 4% атомов кремния не совмещались с атомами галлия и мышьяка, что довольно много, как считают специалисты. При выравнивании двух кристаллических решеток в арсениде галлия возникают дефекты.

Некоторые исследователи продолжают поиск в этом направлении, другие же, в том числе Э. Яблонович и его коллеги из Bell Communications

Research (Bellcore), нашли другой путь решения данной проблемы. Три года назад, используя фтористоводородную кислоту, они удалили тонкий слой с пластины арсенида галлия и попытались нанести его на кремний. Поскольку этот тонкий слой был выращен в среде натурального арсенида галлия, его кристаллическая структура была свободна от обычных дефектов. В 1989 г. исследователи из Bellcore заявили, что, используя этот процесс, который также позволяет наносить арсенид галлия на стекло, им удалось создать лазеры, транзисторы и другие устройства.

Другие исследователи пытаются добиться, чтобы сам кремний излучал свет, но их усилия, судя по всему, наталкиваются на непреодолимые трудности. Соединения из элементов III и V групп периодической системы называются материалами с прямой запрещенной зоной. Когда в арсениде галлия электрон переходит из зоны проводимости с более высоким уровнем энергии в валентную зону, он соединяется с положительно заряженной дыркой, и в результате излучается фотон. В кремнии переход электрона происходит через непрямую запрещенную зону и фотон не излучается, а возникающая при этом вибрация кристалла приводит к высвобождению электрона, сопровождающемуся рассеянием тепловой энергии в решетке.

В течение десятилетия ученые искали другие способы заставить кремний излучать свет. Один из найденных ме-

тодов заключается в добавлении в кремний соединений серы, бериллия или атомов других веществ. Такие добавки не влияют на электропроводность кремния. Но примесный атом может все же захватывать ближайший блуждающий электрон или дырку. В случае когда захватывается электрон, он может притянуть дырку. Комбинация электрон — дырка, получившая название связанного экситона, затем излучает фотон.

В 1989 г. исследователи из института оптики Рочестерского университета создали светоизлучающий диод на основе кремния с добавками серы, испускающий свет в близкой инфракрасной области (1,3 мкм), которая обычно используется в волоконно-оптической связи. Однако наиболее интенсивное световое излучение наблюдается при температуре примерно от — 223 до — 193 °С. Способность экситона образовывать пару электрон — дырка настолько мала, что при комнатной температуре кристаллическая решетка вибрирует с частотой, при которой поток светового излучения невелик.

Вероятно, существует и более эффективное направление исследований. Так, профессор оптики из Рочестерского университета Д. Холл совместно с Х. Бевком из Bell Labs. проводит исследования, целью которых является улучшение светоизлучающих характеристик кремния за счет создания сверхрешеток из чередующихся слоев атомов кремния и сплава

кремния с германием. Сравнительно небольшая запрещенная зона в слое сплава кремния и германия позволяет захватывать электроны и дырки между более высокими "стенками" запрещенной зоны слоев кремния. Таким образом, пойманные в ловушку экситоны способны образовать более прочную связь. "Сверхрешетки позволяют удерживать электроны и дырки примерно в тех же близких друг к другу положениях", — утверждает Холл.

Несмотря на определенные успехи, исследователи, работающие в кремниевой оптоэлектронике, понимают, что они находятся лишь в начале пути. "Сейчас мы лишь приступаем к большой работе. У нас есть некоторые обнадеживающие результаты, — говорит Холл. — Но я считаю, что сделанное нами до сих пор пока еще не может быть использовано в промышленности".

Грядущее потрясение

В АВГУСТЕ 1987 г. казалось, что в связи с рядом ожидаемых в этот период астрономических явлений должна была наступить новая эра мира и процветания. С тех пор произошли поистине фантастические события: пала Берлинская стена, демократия распространилась по Восточной Европе, а М.С. Горбачев стал лауреатом Нобелевской премии мира. Однако теперь поводом для предсказаний грядущей природной катастрофы стало непомерное сближение Луны с Землей и прохождение ее через линию Земля — Солнце.

Климатолог из штата Нью-Мексико А. Браунинг с 50%-ной вероятностью предсказывал, что примерно 3 декабря 1990 г. вблизи Нью-Мадрида (шт. Миссури) произойдет сильное землетрясение. Что касается ученых, то они не испытывали особого доверия к прогнозу Браунинга. Тем не менее этого оказалось достаточно для того, чтобы закрыть на это время некоторые школы, а население стало запасаться консервами.

Этот день, предопределенный стать таким знаменательным для всего Среднего Запада, почти совпал с затянувшейся волной внимания прессы к теме землетрясений. В октябре прошлого года много времени средства массовой информации уделили годовщине калифорнийского землетрясения. Вскоре после этого последовала передача телекомпания NBC под названием "Грандиозная катастрофа: землетрясение в Лос-Анджелесе". Средства массовой информации, вероятно, наиболее остро выразили

осознание обществом опасностей, которые приносит с собой землетрясение. Заместитель директора Геологической службы США У. Хейз, в течение последних 13 лет координировавший работу около 60 семинаров и совещаний по обеспечению подготовки к землетрясениям, утверждает, что боязнь землетрясения превратилась почти в истерию: "Ничто никогда так не возбуждало американцев, как эти события".

О степени беспокойства населения свидетельствовали более 50 тысяч звонков, зарегистрированных на "горячей линии" американской организации Красного Креста, по которой телезрителям компании NBC предлагалось позвонить, чтобы получить информацию о том, как подготовиться к землетрясению. Кроме того, наблюдалось резкое увеличение расходов населения на страхование на случай землетрясения в центральных районах страны. Согласно данным State Farm Insurance, крупнейшей в стране компании по страхованию собственности и от несчастных случаев, в сентябре 1990 г. в семи штатах Среднего Запада, расположенных в районе предполагаемого катаклизма, доходы от страхования на случай землетрясения увеличились в три раза по сравнению с февралем. "Доходы от страхования выросли невероятно", — говорит Д. Джуэлл, представитель Earthquake Project, лоббистской организации, защищающей интересы страховых компаний.

Эта организация, созданная три года назад с целью убедить правительство разработать федеральную программу страхования на случай землетрясения, воспользовалась подходящим моментом для того, чтобы добиться своего в конгрессе и других государственных органах. На следующий день после специальной передачи телекомпания NBC страховая компания AIG из Нью-Йорка, входящая в организацию Earthquake Project, поместила рекламное объявление в газете "New York Times", в котором объяснялось в частности, почему федеральное страхование на случай землетрясения является "жизненно необходимым для всех американцев". Представители AIG утверждают, что совпадение по времени со специальной передачей телекомпания NBC было чисто случайным.

Без создания федеральной системы безопасности страховые компании могут разориться в случае катастрофического по силе землетрясения, которое способно, по утверждению главного консультанта компании AIG Э. Мэнтонна, в крупном городе принести потери в 50 млрд долл.: "У пра-

вительства есть возможность печатать деньги, если в этом существует необходимость. Мы лишены такой возможности. Если мы будем это делать, то сядем в тюрьму".

После калифорнийского землетрясения 1989 г. конгресс проявлял особую отзывчивость в рассмотрении вопросов, связанных с обеспечением готовности к землетрясениям. В прошлом году в палате представителей были выдвинуты два законопроекта, касающиеся федерального страхования на случай землетрясения, и ожидается, что они вновь будут рассматриваться на текущей сессии. Кроме того, действующим бюджетом предусматривается увеличение финансирования более чем на 50% Национальной программы по ликвидации последствий землетрясений — межведомственного проекта, на который прежде ежегодно выделялось по 65 млн долл.

Независимо от того, будет ли предоставлена помощь со стороны федеральных властей, подготовка на случай землетрясения, по-видимому, идет полным ходом. Компании продают все — от детекторов продольных волн, подающих сигнал тревоги, до специальных приспособлений для предохранения мониторов компьютеров. Восемь лет назад в Лос-Анджелесе была основана фирма розничной торговли, получившая название Центра подготовки и снабжения на случай чрезвычайных ситуаций (СЕРП), которая теперь, как утверждают ее представители, стала крупнейшим в стране продавцом аварийных комплектов имущества на случай землетрясения. В состав таких комплектов входят различные необходимые вещи — от питьевой воды до туалетной бумаги. В последние несколько месяцев наблюдается стремительный рост товарооборота СЕРП на ранее пассивном рынке Среднего Запада. Более того, фирма рассчитывает улучшить свои дела в период массовых летних отпусков.

Хотя аварийный ранец может быть идеально приспособлен в качестве емкости для хранения всякой всячины, в различных федеральных ведомствах ломают голову над тем, каким образом внушить людям необходимость постоянно, а не только во время отпусков помнить правила поведения на случай землетрясения. Если этого удастся добиться, то, вероятно, будет легче сосредоточиться на решении такой весьма важной задачи, как внесение изменений в строительные нормы, чтобы свести к минимуму последствия явления природы, которое рано или поздно напомнит о себе.

Проворный повар

ВБЛИЗИ центра нашей Галактики есть звезды в состоянии, близком к «помешательству». Международная группа астрономов обнаружила пульсар, который «готовит пирог» из соседней с ним звезды. Сплюснутый поток газа, по спирали опускающийся на пульсар, время от времени затмевает радиосигналы, идущие от этого стремительно вращающегося объекта. Это наблюдение подтверждает общепринятую теорию, в которой описывается, как эволюционирует новый класс пульсаров.

Э. Лин из Манчестерского университета, Р. Манчестер из Национального управления австралийскими телескопами и их коллеги зарегистрировали двойную систему, направив свой радиотелескоп на шаровое скопление Терзян 5, отстоящее примерно на 21 тыс. св. лет от Земли. В нем они обнаружили пульсар, обозначенный, согласно его координатам, PSR 1744-24A, который вращается с периодом 11,56 мс.

Подобные быстро вращающиеся, или миллисекундные, пульсары, по-видимому, имеют совсем не такие эволюционные треки, как у других пульсаров. У большинства пульсаров периоды превышают 0,1 с, и есть все основания предполагать, что они сформировались непосредственно в процессе взрыва сверхновой. В этот момент внешние слои звезды разлетаются, образуя туманность, а внутренние — сжимаются и становятся столь плотными, что электроны, объединяясь с протонами, превращаются в нейтроны. Поскольку образовавшаяся нейтронная звезда быстро вращается, она проявляет себя как маяк, посылая в пространство всплески радионизлучения.

Но для быстровращающихся пульсаров это, по-видимому, не совсем так. Астрономы считают, что такие пульсары начинают свою жизнь как компоненты двойных звездных систем. Они медленно эволюционируют, поглощая вещество звезды-компаньона. Аккреция вещества на пульсар приводит к увеличению скорости его вращения.

В 1982 г. астрономы Д. Беккер из Калифорнийского университета в Беркли, Ш. Кулкарни из Калифорнийского технологического института и их коллеги обнаружили самый быстровращающийся пульсар с периодом 1,56 мс — примерно в 100 раз короче, чем у типичных пульсаров. Рекордный период и слабое магнитное поле указывали, что миллисекундные пульсары появляются очень редко, вероятно, раз в десятки миллионов лет. Затем в



1988 г. А. Фрагтер с коллегами из Принстонского университета открыли затменную двойную систему с пульсаром. В этой системе звезда-компаньон обращается по орбите вокруг миллисекундного пульсара и периодически перекрывает сигналы, идущие от него.

Возможно, что затменный пульсар, обнаруженный в прошлом году Лином и его коллегами, является недостающим звеном в эволюционной цепи. Нерегулярные затмения и более медленное вращение объекта PSR 1744-24A указывает на то, что он, по-видимому, моложе затменной системы, обнаруженной Фрагтером.

Лин считает, что новый пульсар, вероятно, был одной из умирающих нейтронных звезд, медленно вращающихся и уже почти не излучающих. Но в шаровых скоплениях «вовсе не редкость какое-нибудь столкновение», говорит Лин. Своим тяготением нейтронная звезда могла захватить небольшую звезду и начала «всасывать» наружные слои звезды-компаньона, когда та достигла стадии гиганта. Такие системы называют маломассивными рентгеновскими двойными из-за малого размера звезд и рентгеновского излучения, возникающего, когда вещество падает на нейтронную звезду.

По мере того как нейтронная звезда продолжает захватывать вещество, она вращается все быстрее и, в конце концов, раскручивается настолько, что вновь становится пульсаром. Будучи пульсаром, она уже не ограничивается только влиянием гравитации, добывая себе «питание». В результате быстрого вращения пульсар становится источником высокоэнергичного излучения, способного испарять вещество. «Мы наблюдаем сейчас, —

говорит Лин, — как пульсар «готовит блюдо» из своего компаньона». После того как газ срывается с поверхности компаньона, он по спирали опускается на пульсар, время от времени прерывая его радиосигналы. Это вещество с компаньона, который сейчас уже вероятно, превратился в белого карлика, иногда просто заливает пульсар. До тех пор пока белый карлик не «умрет от аккреции», пульсар может продолжать добычу вещества с поверхности своего компаньона.

Затменные двойные пульсары рассматриваются часто как идеальные системы для проверки общей теории относительности. Астрономы считают, что двойные системы теряют энергию в форме гравитационных волн и что связанные с этим слабые изменения элементов орбиты и периода между импульсами могут быть зарегистрированы. К сожалению, обнаруженный объект расположен слишком близко к центру Галактики. «Можно было бы зарегистрировать релятивистские эффекты, но измерения будут слишком неточными, — заметил Лин. — Вокруг полно всякого хлама».

Тоннель под каналом

В 1751 г. у одного французского фермера возникла идея построить подводный тоннель от Франции до Англии. Этот проект был одобрен в 1802 г. Наполеоном. В 1830 г. его вновь предложил французский инженер. После попытки, предпринятой в 1975 г., за него, наконец, взялись в 1979 г. И вот 30 октября 1990 г. пер-

вый из трех самых длинных в мире подводных тоннелей соединил Великобританию и Францию, «расставшись» после последнего ледникового периода, 8000 лет назад (до этого остров и континент были соединены перемычкой из суши).

Победу в конце концов одержала англо-французская компания Eurotunnel, которая была привлечена к этому проекту пять лет назад. Хотя Eurotunnel предполагала выполнять «Проект тоннеля под каналом» четко, как часы, его «шестеренкам» мешала не только грязь.

Первоначально Eurotunnel запросила за финансируемый частным образом технический проект 9 млрд. долл. Однако спонсоры чуть не остановили работы в начале 1990 г., когда компания попросила еще 5 млрд. долл. Не предвидела Eurotunnel и технических препятствий при прохождении 52,5 км через слои мела между конечными пунктами на обских сторонах Па-де-Кале, или Дуврского пролива, — самой узкой части Ла-Манша.

Тем не менее работа, выполненная Eurotunnel и ее партнером Transmanche Link — консорциумом французских и британских строительных компаний, — может считаться вехой в гражданском строительстве XX в. Более 14 000 рабочих преодолели колоссальные трудности, связанные с выемкой нескольких миллионов тонн земли, скальных пород и «навоза». Они точно маневрировали гигантскими бурами в сырых условиях под высоким давлением. Им приходилось ремонтировать заедающие конвейеры и отлаживать новые, неопробованные технологии проходки тоннелей. Нужно было латать участки тоннеля там, где струи воды лились на оборудование, находящееся под высоким напряжением. За время работы погибло восемь человек.

В январе Eurotunnel должна была закончить строительство «служебного» тоннеля, по которому смогут двигаться обслуживающие механизмы на резиновом ходу. Рабочие уже прошли 70% длины двух боковых «транспор-

тных» тоннелей, по которым будут идти высокоскоростные поезда. Если работа будет продолжаться с той же скоростью, строительство железнодорожных тоннелей закончится к концу 1991 г., а в июне 1993 г. пассажиры и машины будут покрывать отрезок пути между конечными пунктами — Кале и Фолкстоном — за 30 мин.

С самого начала «Проект тоннеля под каналом» был любопытным гибридом старого и нового, в котором соединились технические приемы викторианской эпохи и высокотехнологичное «колдовство». Хотя геодезисты на противоположных берегах точно измерили разделяющее их расстояние с помощью радаров, свое точное положение они вычисляли с помощью триангуляции и опускали свинцовые отвесы, чтобы определить начальные точки работы.

Под землей у техников не было лучшего выбора, чем применявшееся с древних времен счисление пути, для управления суперсовременными машинами для бурения тоннеля — «кротами». Вместе с тем каждая машина удерживалась на прямом пути с помощью лазерного луча. По мере того как «кроты» бурили грунт с противоположных сторон тоннеля, их бортовые компьютеры вычисляли положение и угол лазерного луча, сравнивали пройденный путь с хранящейся в памяти трехмерной картой тоннеля и воспроизводили на экране инструкции для оператора машины.

С обеих берегов в каждом тоннеле продвигались две бурильные машины, одна из которых вынимала землю под каналом, а вторая двигалась в глубь страны к месту будущей конечной станции. Британские проходчики приступили к работе раньше своих французских партнеров, потому что после предпринятой в 1970 г. попытки начать работы остались два вспомогательных тоннеля в скалах Шекспир-Клифф к югу от Дувра.

Каждая из бурильных машин, использующихся в проекте, представляет собой огромное цилиндрическое чудовище, которое бурит, как гигант-

ский червяк: сначала соскребают мел вольфрамовыми резцами и дисками, установленными на медленно вращающейся головке, а затем переваривают грязь в своем теле с помощью насосов и конвейеров.

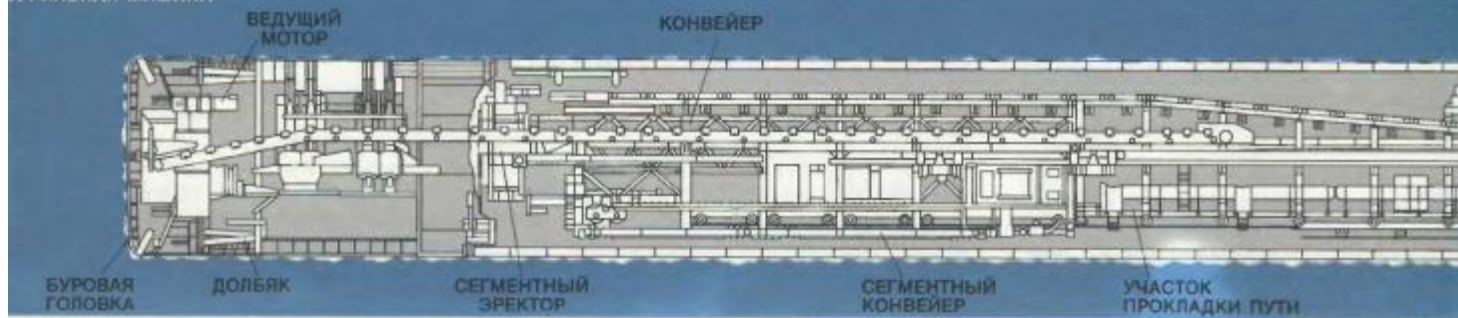
Самой трудной снабженческой проблемой проекта была транспортировка рабочих, оборудования и материалов к забою и удаление вынутого грунта, или «навоза». Поскольку на подводном участке длиной 37,9 км тоннель не имеет шахт для доступа, попасть внутрь или выбраться наружу можно было только через концы.

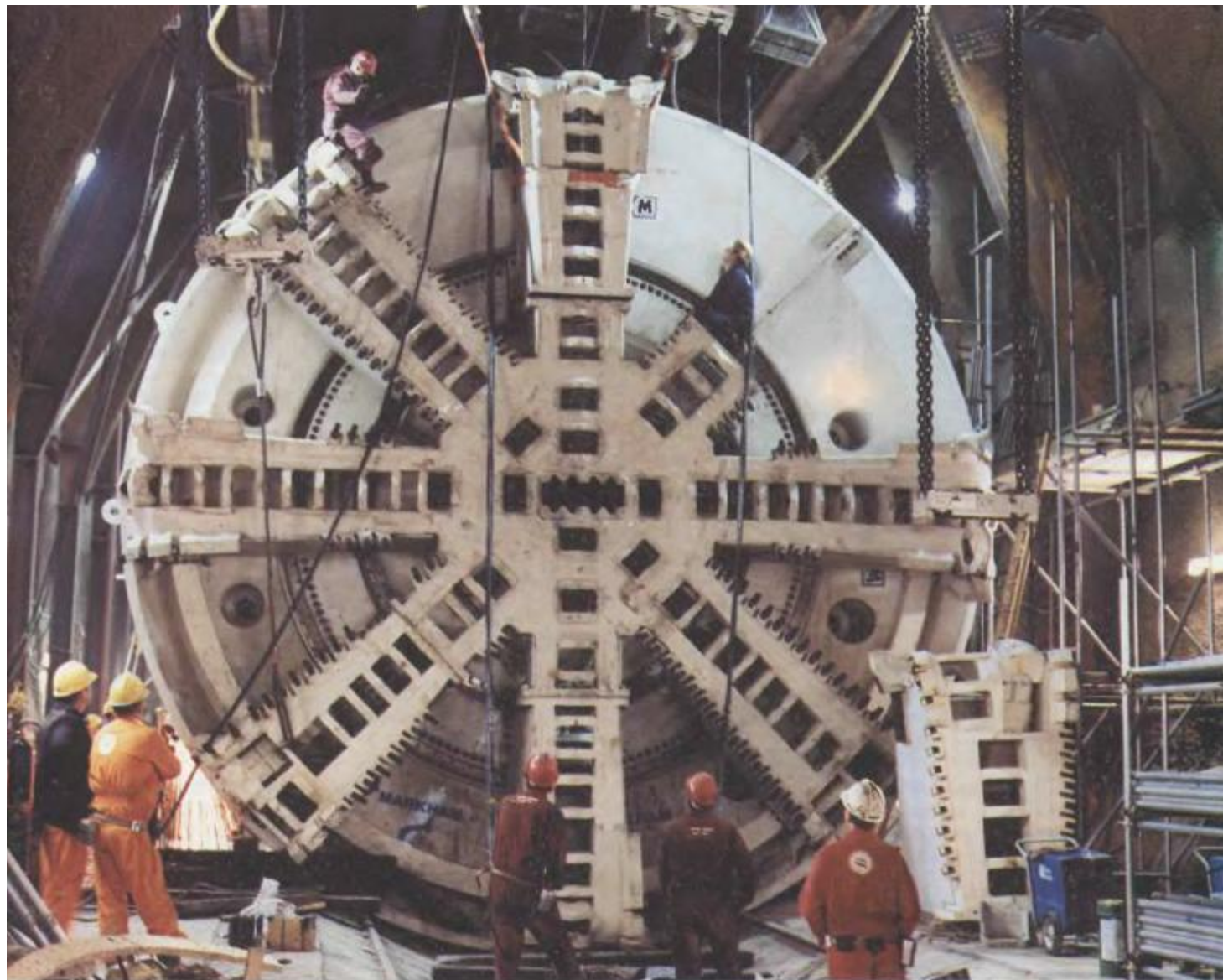
Система транспортировки охватывала более 100 локомотивов, действовавших на пути длиной 190 км. Эти локомотивы питались от подвесных электрических линий и иногда от батарей. (Дизельные локомотивы не могли применяться из-за плохой вентиляции.) Батареи обеспечивают питание локомотивов на расстоянии до одного километра — например, чтобы продвинуться на несколько сот метров в головной части тоннеля, где идущая работа делает слишком опасной установку линий электропитания. С обеих сторон канала линии электропитания оказались, однако, ненадежными, и на батареях приходилось полагаться в большей степени, чем ожидалось.

С британской стороны использование поездов вызвало проблемы с самого начала. Поскольку бурильные машины для служебного тоннеля весили 1500 т и имели длину 300 м, они собирались по частям во вспомогательных тоннелях под скалами Шекспир-Клифф. Поезда доставляли дополнительные узлы по мере того, как бурильная машина выкапывала себе больше места. Вспомогательные тоннели, однако, оказались слишком узкими, а узлы бурильных машин слишком большими, чтобы оставить место для подвесных линий электропитания.

В результате инженеры были вынуждены пускать поезда исключительно на батарейном питании. На поверхности разряженные батареи

БУРИЛЬНАЯ МАШИНА





ПРИ БУРЕНИИ тоннеля используется машина диаметром 8,4 м. В настоящий момент она прокладывает путь через слои мела под Ла-Маншем. Фото QA.

снимались и заменялись свежими для следующей поездки по тоннелю длиной 1,5 км. Таким образом, бурильная машина часто простаивала из-за задержки узлов и материалов. Для окончательной сборки машины потребовалось пять месяцев.

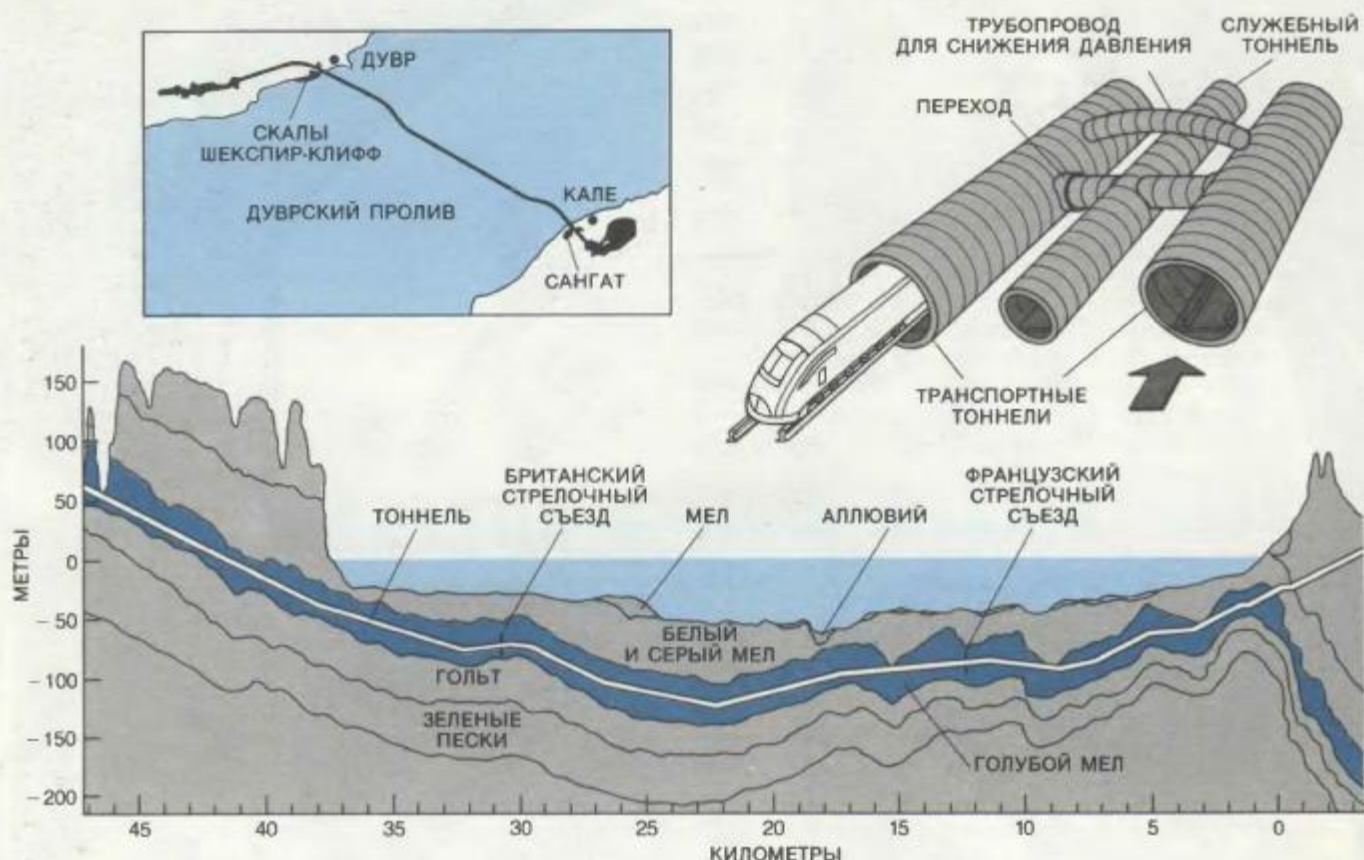
Однако, начав проходку, инженеры

с британской стороны решили, что дальше все будет гладко. Основная часть тоннеля идет через слой мелового мергеля — мягкой породы, непроницаемой для воды и сохраняющей свою форму в течение многих лет после того, как она была вынута. Британской группе повезло также и

потому, что слои мела были толстыми и почти горизонтальными: это давало возможность прокладывать довольно прямой курс.

Такие условия позволили британским инженерам воспользоваться исключительно быстрым методом прокладки тоннелей. Всякий раз, когда





«крот» продвигался на 1,5 м вперед, рабочие на хвосте «крота», укладывали готовые бетонные блоки в виде кольца. Эти блоки фиксировались небольшим клином в верхней части кольца. Когда между стенкой тоннеля и кольцом впрыскивался строительный раствор, блоки образовывали классическую двойную арку и давление перераспределялось на бетонные стенки.

Между первым и пятым километром англичане неожиданно столкнулись с участками мокрого мела. Поскольку заливка строительного раствора обычно производилась на некотором расстоянии позади «крота», бетонная обшивка протекала, как решето. Электропоезда шли по путям, залитым водой. Электрическая система то и дело отказывала. Электрогидравлические тараны, использовавшиеся для проталкивания «крота» сквозь мел, могли выйти из строя в любой момент. Рабочие были мокрыми с головы до ног. «Если вы когда-нибудь попадали в бурю с градом, то можете представить, на что это было похоже», — вспоминает Эндрю Копперуит, проектировщик из Hunslet GMT Ltd., которая поставила локомотивы.

«Мы не имели достаточных знаний об утечках в электрических системах, заливаемых соленой водой. Потребовалось 12 месяцев, прежде чем мы преодолели технические трудности», — ком-

ментирует Джон Кинг, директор проекта в Transmanche Link. В конце концов компания была вынуждена перевести 10 из своих электрических локомотивов на дизельное питание.

Французские рабочие, занятые на подземных работах, пережили еще большие трудности. Не только их поезда столкнулись с аналогичными проблемами, против них была и геология. Поскольку вблизи Франции слой мелового мергеля резко идет вниз, инженерам, прежде чем они достигли лежащего ниже водонепроницаемого слоя, сначала пришлось идти сквозь слой серого мела — мокрого, кашицеобразного вещества, через которое легко просачивается вода.

Для установки бурильных машин в нужное положение французы решили выкопать огромную цилиндрическую шахту диаметром 55 м и глубиной 66 м в Сангате, в нескольких километрах от Кале. Когда шахта была защищена изнутри от проникновения воды бетонной обшивкой, над отверстием установили три порталных крана для опускания узлов бурильной машины.

Поскольку французские строители ожидали встретить большое количество воды, они заказали бурильную машину, которая могла выдерживать давление воды до 10 атм — гораздо больше тех 3—4 атм, что характерны для подводных тоннелей. Машина имела герметичную водонепроницае-

мую головку, из которой жижа откачивалась с помощью архимедова винта — вращающегося вала со спиральными желобами: из камеры с наддувом она поступала на конвейер в рабочей зоне. Машина обеспечивала также защищенное от воды пространство, где рабочие собирали из бетонных блоков обшивку тоннеля. В отличие от обшивки, использовавшейся с британской стороны, французская обшивка требовала более трудоемкого соединения болтами, ее водонепроницаемость приходилось обеспечивать резиновыми уплотнениями.

Надежды на быстрое продвижение вперед с французской стороны погасли, когда испытывающая финансовые затруднения компания на севере Франции аннулировала контракт на производство бурильных машин для служебного тоннеля. Фирма-разработчик Robbins Company колоссальными усилиями сумела построить машину сама в Портленде, шт. Орегон, поставив ее в Сангат спустя три месяца. Неисправный откачивающий насос и заедающий винтовой конвейер еще больше задержали старт. «Сначала не работало ничего, в основном из-за новизны конструктивных проблем», — говорил президент компании Ричард Роббинс.

В результате французские инженеры за первый год бурения прошли только один километр. После первых 500 м серого мела, когда начался бо-

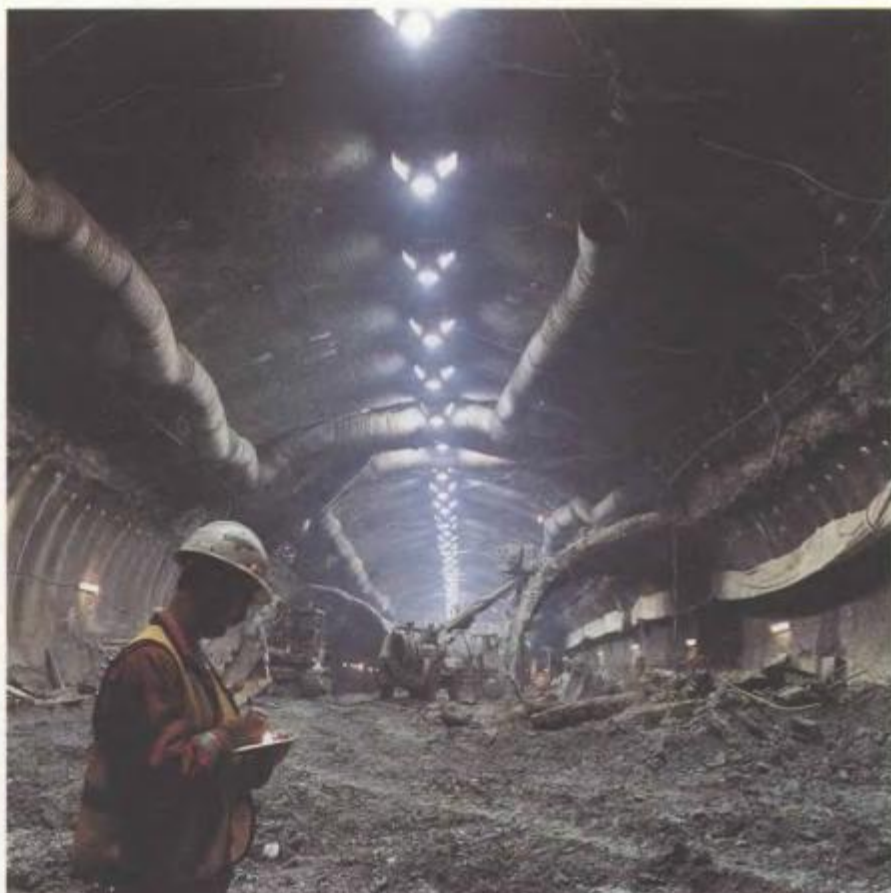
лее удобный меловой мергель, французские «кроты» должны были прокладывать свой путь через «пики» и «долины», образуемые этим слоем, встречая рыхлый серый мел сверху и проходя через «трещины».

Несмотря на медленный старт с обеих сторон Ла-Манша, после примерно года работы дело пошло значительно быстрее. Британская группа избежала проблем, связанных с просачиванием воды в двух транспортных каналах, улучшив метод заливки строительного раствора. В результате к середине 1990 г. они проходили более 300 м в неделю.

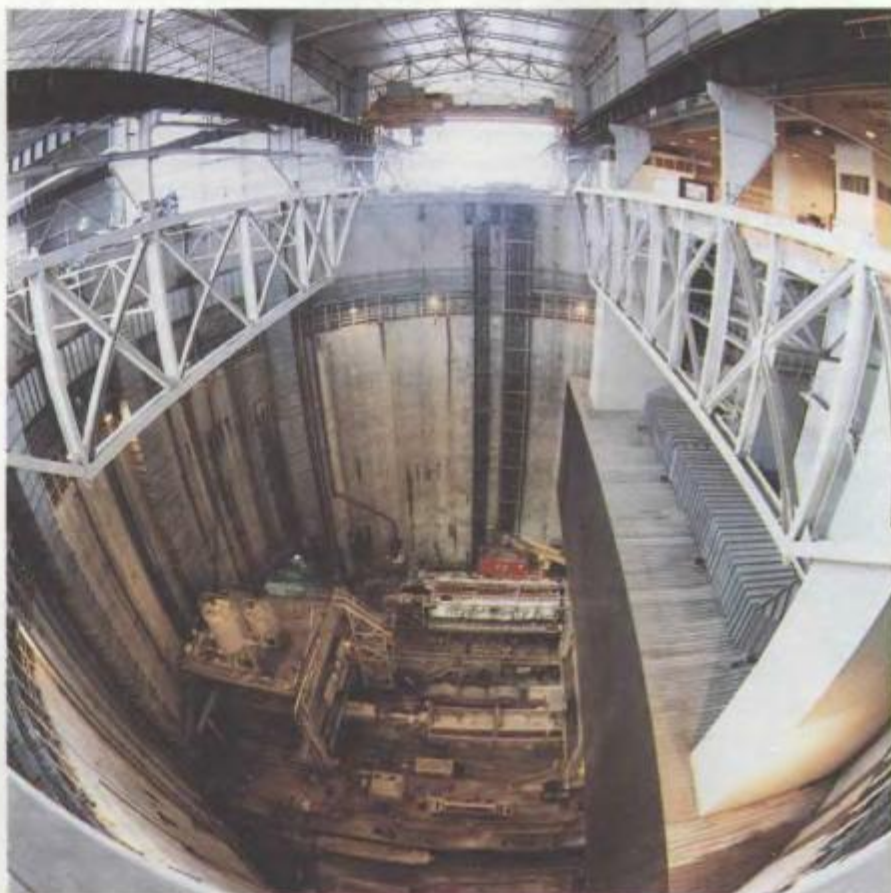
Французская группа, к которой, наконец, удача повернулась лицом, добилась еще большего успеха. Ее бурильные машины скоро превзошли ожидания в отношении скорости, проходя в лучшие недели по 290 м и «сдвигая» место встречи в английскую сторону. В ноябре в северном транспортном тоннеле оставалось прокопать 14,6 км, а в южном — 18 км. «Несмотря на все встретившиеся нам проблемы, — говорит Кинг, — мы, по-видимому, сможем уложиться в предельные сроки и к середине 1991 г. завершить проходку».

Крупной технической проблемой как для французской, так и для британской групп было соорудить два подземных зала высотой 60 м и шириной 20 м каждый, где сходятся два тоннеля. Эти разъездные, как их называют, залы предназначены для размещения здесь железнодорожных стрелок, с помощью которых поезда смогут переходить из одного тоннеля в другой. Залы послужат для того, чтобы можно было закрывать движение в одном тоннеле для его инспекции и обслуживания, не нарушая движение в целом. Сооружение разъездных залов потребовало высокой точности работ. Вначале рабочие сделали несколько небольших шахт и залили их бетоном, чтобы они служили опорными стенками. Затем разбурили бетон и мел, оставшийся между шахтами, и в результате получилась огромная полость.

Теперь, когда Eurotunnel и Transmanche Link хорошо знакомы с геологией дна под Ла-Маншем и самое трудное осталось позади, инженеры могут начать второй этап проекта — установку стационарного оборудования: рельсов, вентиляционных систем, освещения и трубопроводов охлаждения. Требование обеспечения безопасности пассажиров наложило жесткие конструктивные ограничения. Наиболее опасным является пожар. Маршрут аварийной эвакуации обеспечивается служебным тоннелем, который соединен с транспорт-



Только что пройденный участок транспортного тоннеля. Фото QA.



«Стартовая» шахта в Сангате во Франции. Фото QA.

ными тоннелями множеством вентиляционных шахт и насосных станций.

После завершившейся встречи перспектива более напряженного движения, более высоких цен на недвижимость и шумных поездов, несущихся к Лондону и Парижу, начинает вызывать гораздо больше споров, чем вопросы безопасности и инженерные проблемы. Но даже когда пойдут первые поезда, будет трудно забыть, что тоннель воплощает мечту, которую европейцы вынашивали более 300 лет.

Природный вектор

С ПОМОЩЬЮ полезных качеств опасного вируса, возможно, станет реальной генотерапия мозга. Для вируса простого герпеса нейроны являются природной мишенью, что делает его идеальным переносчиком чужеродных генов для коррекции нарушений в центральной нервной системе. Публикации по этому новому использованию вируса простого герпеса пока немногочисленны, но все больше набирают скорость исследования с целью усилить благоприятные свойства вируса и минимизировать вредные.

«Это поистине великолепно, ведь нейробиологи давно мечтают найти пути генотерапии мозга, — говорит Дж. Глориозо, возглавляющий отделение молекулярной генетики и биохимии Питтсбургского университета. — И я думаю, что это единственный путь добиться успеха». Хотя до клинических испытаний еще далеко, есть надежда, что генотерапия откроет способы лечения болезней Альцгеймера, Паркинсона и Хантингтона.



В первых попытках генотерапии нужные гены вводили в клетки с помощью так называемых ретровирусов, которые способны к встраиванию своих генов в ДНК зараженной клетки. Однако для интеграции такого вируса в геном клетки-хозяина необходима репродукция зараженной клетки. Но зрелые нейроны не размножаются, поэтому ретровирусы не годятся для генотерапии нервной системы.

Вирус простого герпеса не только заражает нейроны, но и обеспечивает экспрессию чужеродных генов, включенных в его ДНК, причем для этого не требуется репродукция самих нейронов. Вирус пребывает в нейронах в латентном (покоящемся) состоянии, т. е. он не реплицируется и не вызывает гибели клеток, пока эти процессы не инициируются под влиянием стресса или, возможно, каких-то факторов окружающей среды. Около 90% людей являются носителями вируса простого герпеса. Обычно латентный вирус располагается в периферической нервной системе, а не в мозге, как отмечает К. Брекфилд из Медицинской школы Гарвардского университета. По ее словам, это единственный вирус, о котором известно, что он может проникать в нейроны и находиться там в латентной форме.

Латентность в данном случае является решающим свойством, поскольку, хотя вирус и не репродуцируется, возможна экспрессия некоторых его генов, в том числе чужеродных, которые были введены в вирусный геном. В лаборатории Брекфилда удалось добиться экспрессии встроенных в вирус герпеса генов, которые обуславливают окрашивание нейронов в синий цвет — эта цветная реакция служит показателем того, что вирус «работает» нужным образом. По мнению Брекфилда, основное сделано и теперь настал черед «лечебных» генов.

Вирус простого герпеса обладает и другими преимуществами. Он довольно крупный — в его геноме около 70 генов, — так что может служить вектором для длинного чужеродного гена или нескольких генов поменьше. Некоторые штаммы вируса могут заражать клетки периферической нервной системы и затем проникать в центральную нервную систему, благодаря чему отпадает необходимость вводить вирус непосредственно в мозг.

Несмотря на эти полезные свойства вирус остается весьма опасным. «К генотерапии с помощью вируса простого герпеса следует подходить с величайшей осторожностью, — предупреждает Брекфилд. — Ведь этот

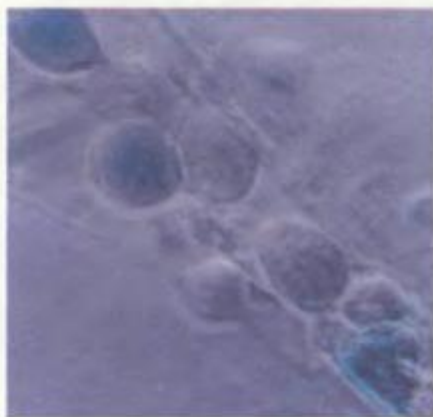
вирус потенциально губителен для мозга». В какой-то момент своего существования вирус может активироваться и начать воспроизводиться, что ведет к гибели клетки; пока неизвестно, чем этот момент определяется.

Чтобы избежать негативных последствий присутствия вируса в организме, используются ослабленные или дефектные штаммы (однако некоторые из них все же способны заражать мозг лабораторных животных). Применяется также иной подход: вирус целенаправленно изменяют таким образом, что он теряет способность к воспроизведению.

Г. Федерофф из Медицинского колледжа им. Альберта Эйнштейна и его коллеги, удалив более 80% вирусной ДНК, получили безвредный вирус, не способный к репродукции. Федерофф, кроме того, ввел в остаток вирусного генома специфический для нейронов промотор, активирующий определенные гены, которые, таким образом, будут экспрессироваться только в этих клетках.

Поскольку Федерофф значительно укоротил вирусный геном, возникло сомнение в том, что такой вирус сможет обеспечить экспрессию нужных генов в живом организме в течение длительного времени. Так, Брекфилд, считает, что для успешной генотерапии вирус должен быть как можно более похож на свою исходную форму. Однако, как отмечает А. Геллер из Онкологического института Даны-Фарбера в Бостоне, сотрудничавший с Федероффом, полученная ими форма вируса герпеса обеспечивает экспрессию генов у взрослых крыс в течение по крайней мере 6 недель.

Другие исследователи иначе избега-



ЭКСПРЕССИЯ ГЕНА, обуславливающего синюю окраску, в нейронах, зараженных вирусом простого герпеса, в который введен этот ген. (Фотография предоставлена А. Геллером.)

ют репродукции вируса. Вместо значительного изменения вирусного генома они подавляют его репликацию и способность к реактивации путем удаления двух генов, необходимых для осуществления этих функций. Об успехах такого подхода сообщал, например, Дж. Стивенс, заведующий отделением микробиологии и иммунологии Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе и занимающийся в настоящее время введением гена фактора роста нервов в нейроны с помощью вирусного вектора: «Этим способом можно обеспечить экспрессию любого гена». Глориозо также использует систему подавления репродукции. Он заявил, что через несколько месяцев с помощью вирусного вектора введен в нервную систему ген фермента тирозингидроксилазы, участвующей в синтезе нейромедиатора дофамина, для лечения паркинсонизма у приматов. (Тремор и ригидность мышц, характерные для болезни Паркинсона, обусловлены, по крайней мере частично, недостатком дофамина.) Некоторые исследователи считают, что длительность экспрессии гена в экспериментах Глориозо можно интерпретировать как результат инфекции. Однако, по словам Глориозо, никаких подтверждений такому предположению нет.

Помимо репликации и реактивации вируса опасными для клетки могут оказаться и другие аспекты его жизнедеятельности. «Некоторые белки вирусной оболочки токсичны», — утверждает Брекфилд, в то же время отмечая, что только в культуре нейроны поражаются этими компонентами вируса. Вирус может также мутировать, а многие мутации ведут к токсичности, как сказал П. Джонсон из Калифорнийского университета в Сан-Диего. Пытаясь снизить цитотоксичность вируса герпеса, Джонсон конструирует различные его мутантные формы.

Несмотря на все эти сложности, исследователи полны энтузиазма. «Вирус простого герпеса представляется абсолютно подходящим для генотерапии», — заявил Стивенс. — Обычно я весьма скептичен, но в данном случае не сомневаюсь, что возможности действительно потрясающие».

Теория всплесков

ЭТОТ аналитический метод используется для анализа фракталов, сжатия изображений и звука, слежения за флуктуациями потребительского рынка и извлечения информации из наиболее затемненных рисунков. И все это так называемые всплески

КАК ВСПЛЕСКИ АНАЛИЗИРУЮТ СИГНАЛЫ



Такие сигналы, как речь и видеоизображение, содержат структуры различных масштабов. Мелкомасштабные структуры в одной области сигнала часто не связаны со структурами другой области.



Преобразование Фурье разбивает сигнал на непрерывно повторяющиеся составляющие различных масштабов, поэтому оно неудобно для представления сигналов, быстро меняющихся во времени.



Всплески выделяют как положение, так и масштаб характерных особенностей сигнала. В результате этот метод позволяет разложить быстро изменяющиеся сигналы на относительно небольшое число составляющих.

ски — небольшие флуктуации, как правило, в виде одного центрального пика и двух меньших отрицательных пиков слева и справа. Исследователи в университетах и промышленных лабораториях усиленно работают над проблемой применения теории всплесков, а Массачусетский университет объявил о создании специальных микросхем, способных осуществлять «всплесковое» преобразование.

Тем временем создатели теории всплесков пытаются ограничить рекламную шумиху вокруг своих работ, чтобы не вызвать чрезмерных ожиданий и последующего разочарования. «Данная теория не претендует на решение сложных проблем мироздания, — заявила Ингрид Добечис из Bell Laboratories. Вы должны понимать, какую именно проблему вы решаете». Г. Бейлкин, математик из Исследовательского центра Шамбергер-Долл, добавляет: «Пройдет несколько лет, прежде чем результаты проводимых исследований станут ощутимыми. Хотя теория и создана, но эффективные алгоритмы для большинства операций со всплесками еще предстоит разработать».

С точки зрения практического применения всплески аналогичны преобразованиям Фурье, которые используются для анализа сложных сигналов и разложения их на гармониче-

ские составляющие различных частот и длин волн. Преобразования Фурье позволяют, например, представить звуковой сигнал в виде суммы гармонических (синусоидальных) колебаний в различных соотношениях. Однако при анализе быстроменяющихся сигналов всплески предпочтительнее преобразования Фурье.

Добечис принимала участие в разработке алгоритма расчета всплесковых преобразований для анализа звуковых и видеосигналов, который обеспечивал большее быстродействие по сравнению с лучшими алгоритмами преобразования Фурье. Предложенный ею метод, сложность которого пропорциональна только числу анализируемых точечных данных, в настоящее время реализуется в микросхеме фирмой Aware, Inc. в Кембридже (шт. Массачусетс). И это только начало использования «громоздкого мешка с инструментами», как заметил Р. Койфман, математик из Йельского университета. Распознавание речи и образов, статистический анализ и моделирование турбулентных потоков жидкости — все это области, где всплески могут успешно использоваться.

Сам Койфман испытывает особую симпатию к новому адаптивному преобразованию «пакет всплесков», которое может представлять сигналы в

чрезвычайно компактной форме. Это преобразование применимо для сжатия, но более важно то, что оно позволяет выявить структуру сигнала. «Произведя преобразование, вы действительно можете сказать что-то важное», — говорит Койфман. Адаптивные всплесковые преобразования электрокардиограмм, например, могли помочь врачам довольно точно определить, какие характеристики отличают биения больного сердца от здорового, считает Койфман.

Всплески не просто преобразуют исходные данные. По словам Бейлкина, их можно использовать для упрощения математических преобразований, к которым прибегают физики и другие ученые. Если рассматриваемый метод взять на вооружение, говорит он, то задачу, решение которой требует 10 тыс. операций, можно свести к задаче, выполняемой за 100 операций, а там, где требуется триллион операций, — к миллиону.

Однако, как сказал Бейлкин, адаптация метода всплесков к этим новым проблемам в том виде, в каком он разработан в настоящее время, — задача не такая простая. Компьютерной памяти хватит лишь для самых ограниченных массивов исходных данных. Добечис согласна с этим. По ее словам, главная проблема, которую пытаются решить теоретики метода всплесков, заключается в том, чтобы успех, достигнутый в анализе одномерных сигналов, таких, как звук, распространить на большие размерности. «Простые многомерные преобразования», — говорит она, — ограничены предпочтительными направлениями; они могут быть использованы для сжатия изображений, содержащих преимущественно горизонтальные и вертикальные линии, а диагональные линии уже не будут учитываться данным методом.

Добечис, Бейлкин, Койфман и другие специалисты, занимающиеся теорией всплесков, крайне удивлены тем, что результаты их работы получили столь быстрое применение в различных областях. Койфман отмечает, что в начале 50-х годов эти исследования не выходили за рамки сугубо математической науки и никакой речи об их распространении на другие области тогда не было.

В 80-х годах А. Мейер, математик из Марсельского университета, сообщил Ж. Морле, инженеру нефтеперерабатывающей фирмы Elf-Aquitaine что тот лишь заново открыл то, что было сделано в прежние годы. Только после этого исследователи начали наводить мосты между различными дисциплинами. С тех пор удалось сделать многое, и новые теоретические результаты стало возможным сразу

реализовывать в программах и микросхемах.

Все говорят, замечает Койфман, что временной разрыв между теоретической разработкой метода всплесков и его применением на практике оказался самым минимальным. Быстрое преобразование Фурье Карл Фридрих Гаусс предложил в конце XVIII в., но оно не находило применения вплоть до начала 60-х годов нынешнего столетия, когда оно было повторно открыто двумя инженерами из Bell Laboratories. Математики-прикладники и физики до сих пор в основном используют аппарат, разработанный еще в XIX в., считает Койфман. Всплески, возможно, положат начало новым научным достижениям, которые будут основаны на математике последних 50—60 лет.

Луч надежды

МЕДИЦИНСКИЙ ЦЕНТР Университета Лома-Линда в Южной Калифорнии не сторонится амбициозных проектов. В 1984 г. специалисты центра привлекли внимание всего мира попыткой пересадки ребенку сердца обезьяны. Несмотря на то что операция закончилась неудачей, больница центра приобрела мировую славу как учреждение, специализирующееся на трансплантации сердца детям (ранее она была известна как центр подготовки миссионеров секты адвентистов седьмого дня).

В наши дни упомянутый центр совершает еще один рывок. На сей раз это самая дорогая в мире установка для медицинских целей — протонный ускоритель стоимостью 30 млн. долл., предназначенный для лечения рака и поэтому названный «Луч надежды». После проведенного в октябре 1990 г. курса лечения больного с меланомой глаза протонная установка вписала новую страницу в книгу рекордов. С учетом стоимости устройств, позволяющих получать изображение, а также строительства здания площадью около 10 тыс. м² для ускорительного комплекса, затраты достигли 60 млн. долл., из которых примерно 20 млн. были предоставлены министерством энергетики США. Больница начала кампанию сбора средств для возмещения остальных 40 млн. долл.

Администрация больницы и специалисты по использованию пучков частиц высокой энергии для лечения раковых заболеваний считают, что в самом проекте ускорителя заложена возможность обслуживания большего числа пациентов, чем на существующих установках для протонной терапии, причем с большей точностью

попадания и более высокой эффективностью передачи энергии. Установки, которые используются сейчас для лечения раковых заболеваний, строились для исследований в области физики высоких энергий — медицинские эксперименты на них стали проводить позднее. Начиная с 1961 г. в Циклотронной лаборатории Гарвардского университета лечение протонными пучками прошли 5000 пациентов, в том числе онкологические больные. С 1954 г. на экспериментальном ускорителе Лаборатории им. Лоуренса в Беркли для этих же целей используется пучок ускоренных ионов гелия; там курс лечения прошли 2000 больных. «Это попытка использовать в медицинской практике результаты, достигнутые на исследовательских установках», — говорит М. Гойтейн, возглавляющий отделение лучевой терапии в Медицинской школе Гарвардского университета.

Лечению с помощью протонной терапии хорошо поддаются многие относительно редкие, неглубоко расположенные раковые опухоли. Например, среди больных с хордмой или хондросаркомой (опухоли в области основания черепа) при таком лечении 5 лет проживают 70% человек, что в 2 раза больше, чем при обычной лучевой терапии. Об этом сообщил Г. Сьют, который возглавляет отделение лучевой терапии в Массачусеттской больнице общего типа, где используется Гарвардский ускоритель и планируется строительство собственной ускорительной медицинской установки.

Технологический подход, использованный в ускорителе Университета Лома-Линда, заимствован непосредственно из практики изучения кварков и мюонов. В 50-тонном синхротроне, спроектированном и собранном в Национальной ускорительной лаборатории им. Э. Ферми в Батавии (шт. Иллинойс), электроны «срываются» с атомов водорода, и полученные таким способом протоны инжектируются в камеру ускорителя. Там, в 7-метровом кольце, они разгоняются до энергий от 70 до 250 млн. эВ, а затем выводятся в одно из четырех помещений, где и проводится лечение.

В трех из четырех комнат находятся 90-тонные сооружения высотой в три этажа, напоминающие «колесо обозрения». Пациент, тело которого частично заключается в цилиндрическую камеру (снабженную различными коммуникационными системами), должен лежать неподвижно в специальной капсуле из плексигласа и фиброгласа. «Колесо» поворачивается вокруг пациента на необходимый угол, и четыре его магнита изгибают траекторию протонов таким обра-

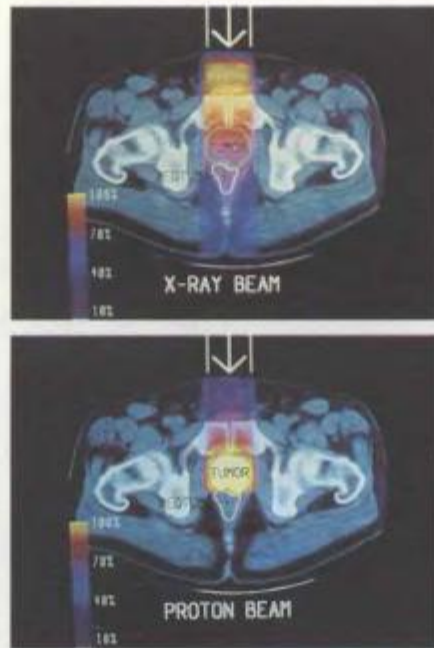
зом, чтобы пучок фокусировался на опухоли-мишени в течение 1—2 мин. (Одному пациенту с меланомой лечение проводилось в четвертой комнате менее сложным, фиксированным по направлению пучком.)

Меняя энергию пучка и количество ускоренных протонов, можно будет «строка за строкой», как это делается электронной пушкой в телевизоре, послойно сканировать опухоли. Излучение в новообразовании может меняться от слоя к слою. Как и рентгеновские лучи, протоны поражают опухолевую ткань, вызывая расщепление молекул ДНК или образование свободных радикалов кислорода из молекул воды. Однако рентгеновские лучи выделяют основную часть своей энергии на первых нескольких сантиметрах пути в теле пациента и не останавливаются, достигнув опухоли. Протоны, наоборот, отдают большую часть энергии перед самой остановкой, не повреждая нормальные ткани, окружающие опухоль.

Специалисты Университета Лома-Линда надеются, что лечение раковых опухолей на специально разработанном для медицинских целей ускорителе будет гораздо эффективнее, чем на исследовательских установках. Однако мнение администрации больницы о том, что этот метод применим для лечения локализованных злокачественных новообразований в легких, поджелудочной железе и других органах, вызывает у многих недоверие. «Специалисты по лучевой терапии не хотят признать, что, даже если они полностью контролируют саму опухоль, они могут и не добиться полного излечения из-за микрометастазов», — считает Э. Глатштейн, заведующий отделением лучевой терапии в Национальном институте рака в Бетесде (шт. Мэриленд).

Протонная терапия будет обходиться недешево, хотя администрация больницы обращает внимание на то, что курс такого лечения дешевле многих хирургических операций. Нужно будет содержать постоянный штат из 8 медиков, 12 инженеров, 8 физиков и 12 техников и оплачивать счет за электроэнергию в размере более 80 тыс. долл. Стоимость лечения одного пациента (в год предполагается принимать 2000 человек) составит от 10 до 20 тыс. долл.

Кроме того, университет ведет переговоры с организациями, осуществляющими программу «Medicare», и частными страховыми компаниями относительно возможности возмещения пациентам стоимости лечения. В октябре 1990 г. закрылся центр нейтронной терапии Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе (где 3/4 пациентов старше 65 лет), по-



ПРОТОННЫЕ ПУЧКИ выделяют большую часть энергии непосредственно в опухоли предстательной железы, в то время как значительная часть энергии рентгеновских лучей расходуется напрасно; это видно из диаграмм, полученных в результате компьютерного моделирования. Вращающееся колесо на установке в Университете Лома-Линда (справа) предназначено для направления пучка протонов на тот участок тела, который должен подвергнуться лечению.



скольку страховая компания, обслуживающая программу «Medicare» в Южной Калифорнии, отказалась возмещать расходы. (Стоимость используемой в центре нейтронной установки составляет 5—10 млн. долл.) Поэтому специалисты по лучевой терапии задумываются над тем, реально ли добиться на протонной установке тех же терапевтических результатов, но за сумму в несколько раз меньшую. Некоторые делают ставку на новый вид рентгеновской терапии, в которой используются линейные ускорители стоимостью от 450 тыс. до 1,2 млн. долл. Этот метод лечения, в котором к опухоли подводится не один, а несколько пучков, может быть не менее эффективным, чем протонная терапия. «Вы тратите меньше денег, а получаете почти такое же распределение дозы облучения», — говорит Р. Гудман, заведующий отделением лучевой терапии в Больнице Пенсильванского университета.

Судя по всему, протонный ускоритель в Университете Лома-Линда не только будет считаться самой дорогой медицинской установкой в мире. Национальный радиологический институт в Японии приступил к строительству в Чибэ синхротрона — Медицинского ускорителя тяжелых ионов, на котором раковые опухоли будут облучаться ядрами гелия, углерода, аргона и других элементов, ускоренными до 800 млн. эВ. Эта установка будет на 235 млн. долл до-

роже протонного ускорителя в Лома-Линда.

Установку в Лома-Линда нельзя считать единственной в своем роде. Если клинические результаты протонной терапии окажутся успешными, то в соответствии с имеющимися планами аналогичные установки будут проданы нескольким другим больницам. Лицензию на технологию, применяемую в Лома-Линда, купила международная корпорация SAIC, специализирующаяся на внедрении передовых научных достижений; в свое время эта корпорация заключила контракт на обеспечение программы «Звездных войн» техническими средствами направленной передачи энергии. Предполагается, что SAIC сможет продать около 20 подобных установок в больницы. Их цена, как ожидается, составит 20 млн. долл.

Однако найти покупателей среди тех больниц, которые не относятся к немногочисленной группе элитарных лечебных заведений, будет не так просто. Средний бюджет на закупку медицинского оборудования в больницах более чем на 500 коек в прошлом году по данным официальных источников составил 6,5 млн. долл.; этой суммы достаточно на удовлетворение самых первостепенных нужд. Отсюда можно сделать вывод, что синхротроны могут в основном остаться приделегией физиков, а не медиков.

Скандал вокруг открытия продолжается

Роберт Галло
выдерживает полемику

РОБЕРТ Галло, возглавляющий лабораторию клеточной биологии опухолей в Национальном институте рака, рассержен. Выдающийся исследователь в области изучения ретровирусов, опубликовавший около 900 статей, он является обладателем всех почетных наград в медицинской биологии, за исключением Нобелевской премии. Но широкой общественности он известен главным образом в связи со скандалом вокруг открытия причины СПИДа. «Я прошел через жернова», — говорит Галло.

Корни конфликта восходят к сентябрю 1983 г., когда Люк Монтанье из Пастеровского института в Париже послал Галло образец французского изолята вируса, названного им LAV (от англ. lymphadenopathy virus). Спустя 7 месяцев Галло провел пресс-конференцию, и на ней он объявил об идентификации вируса, вызывающего СПИД, которому он дал название HTLV-III (от англ. human T-lymphotropic virus, type III). Он сообщил также, что разработал основанный на этом метод проверки образцов крови на присутствие возбудителя СПИДа. В 1985 г. Франция обвинила США в нарушении договора, утверждая, что Галло при разработке метода анализа крови попросту использовал французский вирус.

Правительства Франции и США закончили со спором в 1987 г., придя к заключению, что Галло и Монтанье обладают равными правами. Оба ученых опубликовали затем официальную историю своей работы по СПИДу в журнале «Nature» и написали совместную статью для «Scientific American» (см. статью: Р. Галло, Л. Монтанье, СПИД в 1988 году, «В мире науки», № 12, 1988).

Это равновесие сохранялось до ноября 1989 г., когда в «Chicago Tribune» появилась статья журналиста Дж. Крудсона, в которой он опять обвинил Галло в злоупотреблении доверием. На основании этой публикации конгрессмен Дж. Дингелл потребовал от Национальных институтов здоровья (NIH) провести расследование. В феврале 1990 г. началось разбирательство работы лаборатории Галло по выделению образцов вируса СПИДа, выращиванию его в культуре клеток и доказательству причинной роли этого вируса в заболевании.

После того как группа экспертов провела многие часы за изучением по-

казаний свидетелей и рабочих дневников сотрудников Галло, исполнительный директор NIH У. Робб объявил в октябре 1990 г., что исследовательская группа под руководством Галло проделала «достаточное количество» выявлений и выделений вируса СПИДа «из различных источников» именно в то время, когда, по утверждению Галло, ему и его сотрудникам удалось выделить и вырастить в культуре клеток HTLV-IIIb. Эти факты, как сказал Робб, исключают для Галло или кого-либо из его коллег «принципиальный мотив» украсть французский вирус.

Однако Робб отметил, что в одном ключевом исследовательском отчете М. Поповича и других сотрудников Галло «обнаруживается существенное, по-видимому, расхождение между тем, как работа была описана и как она была проведена». Робб поддержал требование о проведении формального расследования для изучения пропущенных данных и некоторых вызывающих вопросы положений в этом отчете.

Вряд ли кому понравится оказаться под следствием. Галло, судя по всему, органически не способен оставаться беспристрастным, когда обсуждаются обвинения против него. Уязвленный, он должен был сказать свое слово, и он это сделал: «Я уверен, что никто в лаборатории не совершил ничего предосудительного. Возможно, Попович и недостаточно четко ведет лабораторные записи, но вклад его весьма велик: именно он показал, как выращивать вирус. Не знаю, что тут можно найти дурного и какова могла бы быть цель подтасовки данных».

И Национальный институт рака, и собственный адвокат Галло пытались укрыть его от любопытства общественности, но Галло был неудержим. Недавно он позвонил известному критическим выступлениям Б. Нуссбауму, который давал интервью по поводу своей книги о СПИДе «Добрые намерения» (B. Nussbaum «Good Intentions») в радиошоу в Вашингтоне и сказал: «Вы оклеветали тех, кто ежедневно рисковал своей жизнью, доказывая причину заболевания и разрабатывая метод анализа крови для эпидемиологических исследований, тех, кто, стремясь спасти сотни тысяч жизней, создал первую систему для испытаний соответствующих лекарств».

Некоторые черты характера Галло, особенно многоречивость и непостоянство, стали притчей во языках в научных кругах. Как говорят его коллеги, он лезет на рожон со своей склонностью к сарказму и порой насмешли-

вым отношением к работе других ученых, включая группу Монтанье. По общему мнению, Галло является весьма продуктивным мыслителем, но с выраженным стремлением к интеллектуальному доминированию. «Я считаю, что его репутация весьма противоречива, — говорит нобелевский лауреат за работы по ретровирусам Г. Темин из Висконсинского университета. — Он многих вынудил плохо к себе относиться, но я думаю, что и многие его поддерживают».

Галло родился в 1937 г. в Уотерберри (шт. Коннектикут). Наука, по собственному признанию, не привлекала Галло, хотя ему приходилось наблюдать, как отец, металлург-самоучка, читал технические журналы. Когда Галло было 12 лет, заболела лейкозом его младшая сестра Джудит. Ее поместили в Бостонскую детскую больницу, где она оказалась в числе первых пациентов, подвергавшихся химиотерапии; но несмотря на все усилия девочка через год умерла.

Галло считает, что трагедия, сокрушившая отца, повлияла и на его выбор жизненного пути. Отец и сын стали близкими друзьями патологоанатома М. Кокса, обнаружившего заболевание Джудит. По словам Галло, Кокс был жизнерадостным скептиком и сыграл существенную роль в его жизни: «Я тогда вовсе не собирался стать врачом — главным образом потому, что мой отец хотел этого. Когда меня принуждают к чему-либо, я непременно поступаю наперекор. Но со стороны Кокса никогда не было никакого давления. В отличие от меня он был большим дипломатом».

В юности Галло, как он говорит, больше увлекался спортом и девочками. Но к тому времени, когда он поступил в Провиденс-колледж, наука уже захватила его воображение. Путь Галло к успеху — и скандальной известности — начался с амбициозного намерения выяснить роль тимуса у мышей, которое привело к плачевному результату: все 200 подопытных животных погибли, и Галло испытал горечь многочисленных упреков. Позднее, в Джефферсоновском медицинском колледже в Филадельфии, Галло отказался от курса общей анатомии и гистологии, объяснив это тем, что «они найдут название чему угодно, после того как кто-нибудь другой это откроет». Большую часть своего времени он проводил в лаборатории покойного А. Эрслева, изучавшего клетки крови. «Мне нравилось думать о биохимических реакциях, происходящих в организме», — вспоминает Галло.

После интернатуры в Чикагском университете, где он заинтересовался

заболеваниями, связанными с нарушениями обмена веществ, Галло в 1965 г. в порядке военной службы начал работать в НИИ. Сочетание преподавания, врачебной практики и научно-исследовательской деятельности было "самым прекрасным делом на свете", как говорит он. Правда, вначале он работал в отделении, где лежали дети, больные лейкозом, — а там он меньше всего хотел оказаться. Но вскоре Галло получил место в лаборатории лейкоцитов и посвятил себя исследованиям лейкоза. Галло вспоминает те дни в НИИ как рай.

В 1976 г. Галло с коллегами открыл фактор роста Т-лимфоцитов — интерлейкин-2, а в 1979 г. ими был обнаружен первый ретровирус человека — HTLV-I. Как считают некоторые ученые, уже за эти только работы Галло был бы достоин Нобелевской премии, если бы не оказался втянутым в однозлые споры в связи с вирусом СПИДа. Интерес к СПИДу возник у Галло в 1982 г.; тогда он предположил, что заболевание обусловлено каким-то вариантом HTLV-I. "Эта идея стимулировала верное направление исследований, — утверждает Галло. — Частично она отражала истину, частично — нет, но именно таков путь научного поиска".

В мае и июне 1983 г. Галло, по его словам, резко активизировал исследования по СПИДу; он перегруппировал сотрудников и стал координатором "штурма". "Насколько мне известно, мы были первой лабораторией в мире, культивировавшей образцы тканей больных СПИДом", — говорит Галло. Ежегодные конференции, проводившиеся в его лаборатории, стали Меккой для всех исследователей, занимающихся СПИДом. "Я чувствовал, что моя роль заключается в критике и создании гипотез для стимулирования исследований и направления работы лаборатории. По-моему, лидер исследовательской группы должен в какой-то степени интеллектуально доминировать".

Галло не считает, что давление научного руководителя может нанести непоправимый вред: "Я не думаю, что оно деморализует сотрудников". Вместе с тем он согласен, что в чем-то оно опасно: "Можно сильно испортить жизнь нескольким сотрудникам в смысле затрат времени и сил, да и морального самочувствия". Однако и

сам Галло, как он говорит, "потерял немало покоя и времени, которое могло бы быть использовано для творческой работы". И все же освещение скандала в прессе удручает Галло: "Худшая часть общества лишь наблюдает и ничего не предпринимает в связи с потоком лжи, полуправды и искажения фактов в прессе. Я неодно-



РОБЕРТ К. ГАЛЛО, известный своими исследованиями возбудителя СПИДа, оказался мишенью скандальных разбирательств.

кратно читал в некоторых европейских изданиях, что все делалось ради денег".

Галло видит в происходящем огромную несправедливость. Когда он разрабатывал свой метод анализа крови, официальные представители министерства здравоохранения и социального обеспечения говорили ему, что он должен иметь патент, чтобы быть защищенным на случай подделок или претензий на приоритет. Ряд предыдущих открытий Галло породил медицинские технологические разработки, на которых другие "делали деньги". А на этот раз, как он утверждает, когда ему предлагали запатентовать новый метод, ни слова не было сказано о том, что это принесет гроши. "Мы могли получить только 10 тыс. долл., и я не знал этого".

В 1986 г. президент Р. Рейган изменил правила начисления патентного роялти для государственных служащих. По словам Галло, сейчас он получает за несколько своих патентов

максимум 100 тыс. долл. в год. "А пишут, что мы могли получать миллионы, — говорит он, явно раздражаясь. — Это ложь".

У Галло есть определенное мнение о том, почему он стал жертвой столь многих обвинений, и без колебаний называет имена бывших государственных служащих — организаторов "заговора". В качестве доказательства он приводит факт очень быстрого распространения письма Дингелла, требовавшего расследования. "В тот же день, когда это письмо поступило в НИИ, оно было доставлено всем сотрудничающим со мной ученым", — утверждает Галло. То же самое, говорит он, было с копиями статьи Крудсона. "Смысл заговора заключался в том, чтобы оградить нас от научных контактов", — сказал Галло.

По поводу мнения Крудсона о резюме статьи, опубликованной группой Монтанье, которое Галло написал будто бы для отражения собственных идей, последний заявляет: "Осталось за кадром, что они меня просили написать резюме, поскольку сами забыли это сделать. Кроме того, они видели гранки и одобрили их. Они ошиблись: в статье описана иммунологическая реакция с HTLV-I. Все забыли об этом, а спрашивается, почему?".

Вопрос о том, кто проявил эту странную забывчивость, и является предметом текущего расследования НИИ. В нем применяются новые методы, позволяющие проследить происхождение вируса, использованного Галло для создания его метода анализа крови. Галло признает, что этот вирус мог произойти от случайного загрязнения LAV, так что неясно, сможет ли расследование показать что-либо определенное относительно виновности.

Тем не менее Галло уверен, что очень скоро, еще в этом году, восстановит свою репутацию. По его словам, в работе руководимой им лаборатории сейчас совершаются важные открытия, касающиеся вируса СПИДа и других болезнетворных вирусов человека. "Так или иначе, но результаты будут", — обещает он. Что ж, посмотрим, удовлетворят ли эти результаты комитет по Нобелевским премиям.

Тим Бердсли

Рабочие места второго сорта

МЕЛКИЙ БИЗНЕС — неотъемлемая часть американской мечты. Под ним может подразумеваться как семейная бакалейная лавка, так и новая компания, работающая в области новейших технологий. Консервативные политики стремились доказать, что мелкий бизнес — это главный инструмент создания рабочих мест в США. При этом в качестве аргументов приводились такие примеры, как Силикон Вэлли и «Массачусетское чудо».

Но для экономиста Джеймса Медоффа из Гарвардского университета этих аргументов недостаточно. «Это абсурд», — говорит он. По его утверждению, если мелкий бизнес и создает больше рабочих мест, то лишь потому, что эти места дешевле стоят. Он считает, что в целом мелкий бизнес обеспечивает меньшую оплату одинаковой работы, меньше льгот и меньшую защищенность рабочего места от всяких случайностей и незаконной дискриминации. В работе «Работодатели большие и малые», опубликованной весной прошлого года, Медофф, Чарльз Браун из Мичиганского университета в Анн-Арборе и Джеймс Хэмилтон из Университета Дьюка утверждают, что примерно 54% американских трудящихся, занятых в компаниях, где численность персонала менее 500 человек, являются гражданами второго сорта по сравнению со своими собратьями из крупных компаний.

Откуда такая цифра — менее 500? Ее использует министерство торговли на основании статистических данных о мелком бизнесе. Хотя преобладающую часть мелких фирм составляют стандартные компании с совсем незначительным числом занятых, ведущая роль в обеспечении рабочих мест в сфере мелкого бизнеса принадлежит «большим» малым фирмам. К представителям малого бизнеса, например, относится инвестиционный банк Kohlberg Kravis Roberts & Co.

Мелкий бизнес не всегда малый по своим масштабам, также как не во всех случаях он представлен новыми фирмами, работающими в области новейших технологий. Хотя темпы роста производства в области таких технологий значительно выше средних, эти фирмы обеспечивают лишь незначительную часть занятости в этом секторе экономики. Согласно информации Управления по делам мелких фирм, мелкий бизнес доминирует в таких секторах экономики, как

сельское и лесное хозяйство, оптовая и розничная торговля.

Какую же роль на самом деле играет мелкий бизнес в создании рабочих мест? С 1976 по 1986 год в американской экономике занятость увеличилась примерно на 22,3 млн. рабочих мест. Мелкий бизнес обеспечил 57% этого роста, то есть лишь немногим больше, чем можно было ожидать, учитывая его долю в общей занятости. Те, кто считает, что мелкие фирмы обеспечивают не менее 80% новых рабочих мест, не учитывая тот факт, что более 60% мелких фирм прекращают свое существование в срок до шести лет, что приводит к ликвидации всех имеющихся в них рабочих мест.

Рабочие места, которые создаются в мелких компаниях, имеют ряд недостатков. Данные Бюро статистики труда показывают, что средняя оплата труда в мелких фирмах примерно на 30% ниже, чем в крупных компаниях. Даже с учетом более низкого уровня квалификации занятых в мелком

бизнесе различия, существующих в Японии, стране с совершенно иной, чем в США, организацией промышленности. Там практикуется система пожизненного найма в огромных концернах, которая амортизируется вторым слоем субподрядчиков, гарантия занятости и оплата труда у которых значительно ниже.

В связи с вышесказанным возникает вопрос, почему же мелкие компании по-прежнему процветают. По мнению Медоффа, мелкому бизнесу оказывается чрезмерная поддержка со стороны местных и федеральных властей. Мелкие фирмы открыто высвобождаются от соблюдения законодательства по охране окружающей среды, инструкций о выдаче сведений о состоянии финансовых дел, недопущении дискриминации и соблюдении техники безопасности на рабочем месте. Такие льготы позволяют сократить издержки на ведение бизнеса.

Кроме того, мелкие фирмы могут также получить освобождение от соблюдения законодательства де-факто,

так как правительство их не контролирует. В исследованиях, проведенных в 1987 г. Дэвидом Уайлом из Гарвардского университета, утверждается, что на предприятиях с числом занятых до 100 человек, в шесть раз меньше вероятно проведение проверки Управлением охраны труда, чем на предприятиях, насчитывающих более 500 человек.

В своей книге Медофф, Браун и Хэмилтон высказывают мнение, что мелким компаниям удалось добиться относительной свободы от соблюдения установленных правил и инструкций за счет создания у общественности и политиков образа мелкого бизнеса как важного инструмента обеспечения занятости. Более того, мелкий бизнес является мелким в национальных масштабах, а в своем городе компания с несколькими сотнями занятых представляется большой силой.

Это, вероятно, поможет понять, почему люди работают в сфере мелкого бизнеса: во многих городах нет крупных работодателей. Браун также подчеркивает, что для поступления на работу в крупную компанию требуется длительное ожидание своей очереди, и тем, кому необходимо срочно устроиться на работу, могут остановить свой выбор на мелкой компании.



бизнесе разница оплаты сопоставимой работы составляет, по мнению Брауна, около 10%. Кроме того, здесь обычно могут предложить значительно меньше дополнительных выплат, таких, как медицинское страхование и оплачиваемый отпуск.

Меньший уровень заработной платы и различных льгот в небольших компаниях не в состоянии компенсировать даже существующая там якобы особая деловая атмосфера: текучесть кадров здесь выше, чем в крупных фирмах. Более того, для занятых в мелких компаниях вероятность быть уволенными выше, чем у их коллег в крупных фирмах аналогичной сферы производства.

Как это ни парадоксально, считает Медофф, контрасты между условиями труда в мелких и крупных фирмах заставляют вспомнить о похожих рез-

Пол Уолич
и Элизабет Коркоран

Книги издательства „Мир“

В. В. Скворцов

ТЕОРИЯ ВЕРОЯТНОСТЕЙ? — ЭТО ИНТЕРЕСНО!



Оригинальное изложение основных понятий теории вероятностей в занимательной форме, сочетающей черты нестандартного учебного пособия и сборника задач (с подсказками). Книга богато иллюстрирована и выходит в серии «Наука и техника в картинках».

Автор адресует свое произведение двум категориям читателей: тем, кто знает и любит теорию вероятностей, но еще более тем, кто ее не знает или не любит. Книга может использоваться и в самостоятельной работе и в кружках. Контрольные вопросы и ответы на них способствуют систематизации знаний и стимулируют самостоятельность мышления читателя.

Для студентов технических вузов, школьников, для любителей занимательной математики.

1992 г. 14 л. Цена 3 р. 50 к.

Заказы на эту книгу можно оформить в любом магазине научно-технической литературы после поступления тематического плана издательства на 1992 г. в апреле-мае 1991 г.



Научно-технический прогресс и конкурентоспособность



Б. Р. ИНМАН, ДЭНИЕЛ Ф. БАРТОН

СЛАВА США, как страны, когда-то задававшей тон в техническом прогрессе, ушла в прошлое. Причина? Конкуренция на международном рынке. Следствие? Принципиальные изменения во взаимоотношениях между правительством и деловыми кругами США, которые существенно сказались на проводимой в стране политике в области научно-технического развития. Несмотря на то, что последствия этого явления все еще обсуждаются и анализируются, главный результат очевиден: когда речь идет о научно-техническом развитии, политика США не должна находиться под давлением приоритетности фундаментальных исследований и оборонных задач; экономическая стабильность и поддержание конкурентоспособности ее промышленного сектора — тоже жизненно важные аспекты.

На примере пяти основных отраслей можно проследить, как изменилась научно-техническая политика американского правительства. Речь идет о производстве электронных изделий широкого потребления, полупроводников, сверхпроводников, создании истребителя «FSX» и разработок в области телевидения высокой четкости. Все, что произошло в этих областях, может служить важным уроком для тех, кто в США отвечает за принятие решений.

Сокращение выпуска электронной бытовой аппаратуры было первым сигналом об утрате передовых позиций в сфере промышленного производства. Пионерами в этой области были американские изобретатели, которым мы обязаны появлением звукозаписи, радиовещания, телевизионных приемников, транзистора, цветного телевидения, портативных радиоприемников и видеомагнитофонов. До 1970 г. США были лидирующей страной в промышленном производстве бытовой электронной аппаратуры. С тех пор они фактически утратили свое ведущее положение на международном рынке. Представители промышленности слишком

поздно осознали, что новые технические достижения должны непременно сопровождаться прогрессивным развитием системы производства, способной обеспечить массовый выпуск продукции высокого качества и низкой себестоимости. Федеральное правительство тоже нанесло ощутимый удар по американской промышленности, позволив заполнить рынок США дешевой импортной продукцией, в то время как доступ на зарубежные рынки для американских производителей практически оставался закрытым.

Если провалу в сфере производства бытовой электроники можно было не придавать особого значения, как явлению в отрасли, не играющей важной роли в американской экономике, то в отношении утраты передовых позиций в производстве полупроводников этого уже не скажешь. Полупроводники в сознании многих американцев олицетворяли высокий технический уровень изделий, поставляемых Кремниевой долиной, и выпавшие на долю этой отрасли испытания не могли оставить общественность равнодушной. Следуя по стопам бытовой электроники, события, имевшие место в полупроводниковой отрасли, уже не были откровением. Будучи изобретенными в США, полупроводники заложили новую и жизненно важную для американцев отрасль промышленности, которая сумела завоевать мировой рынок. В 1976 г., однако, Япония объявила о программе создания полупроводниковых схем с очень высокой степенью интеграции. Через 10 лет Япония уже владела 65% мирового рынка устройств компьютерной памяти. Преподнесенный японцами урок был суровым; даже высокоразвитая американская промышленность могла бы вмиг оказаться поверженной в международной конкуренции. Спад в полупроводниковой промышленности США еще раз подчеркнул тот факт, что само по себе наличие передовой техники еще ничего не значит; не менее важно распола-

гать одной из лучших технологий производства и хорошо налаженным взаимодействием между правительством и промышленниками.

Аналогичная ситуация случилась со сверхпроводниками. Ряд событий, имевших место в этой области, выявил два важных обстоятельства. Во-первых, эти события продемонстрировали, насколько быстро распространяются технические знания по всему миру. Открытие, сделанное в швейцарской лаборатории американской фирмы IBM, вызвало цепную реакцию международного масштаба по интенсивному уточнению результатов, полученных специалистами IBM, и появлению в связи с этим новых научных достижений в Японии, США, странах Европы и в Китае. Во-вторых, сверхпроводники заставили американское правительство обратить самое серьезное внимание на одну важную проблему: как перевести результаты фундаментального исследования в готовую продукцию и технологический процесс, которые дали бы желаемые военные и экономические выгоды. Отсутствие успехов в производстве бытовой электронной аппаратуры и полупроводниковых изделий были учтены официальными властями.

Весной 1989 г. еще одно технологическое новшество стало предметом широкого обсуждения — создание истребителя «FSX». Дебаты развернулись вокруг предполагаемого совместного американско-японского предприятия по разработке нового тактического истребителя на основе самолета «F-16», выпускаемого фирмой General Dynamics. Противники этого проекта опасались, что он послужит на руку Японии, которая, воспользовавшись передовой секретной технологией США, осуществит свою давнюю цель — создать собственную космонавтику. Сторонники же проекта утверждали, что его осуществление, наоборот, удержит Японию от создания собственного военного самолета и что США в этом случае получат доступ к японской технологии. Несмотря на то, что несколько измененный вариант этого соглашения был в конце концов подписан, разногласия по данному вопросу породили более глубокую политическую проблему, а именно, следует ли в международной политике США отдавать предпочтение экономическим интересам в ущерб безопасности страны?

В течение последних двух лет Вашингтон активно включился в политические дебаты о телевидении высокой четкости (ТВЧ). Сторонники этой идеи заявляют, что ТВЧ — самое значительное достижение с тех

пор, как появилось цветное телевидение, и считают, что оно приведет к возникновению ряда других новых технологий. Противники считают, что это техническое новшество не найдет широкого применения и не будет пользоваться большим спросом. По мнению многих, это противостояние стало символом затруднений правительства в проведении логически последовательной научно-технической политики. Практическая осуществимость этой идеи и связанные с ней стандартизация, определение потенциальной потребности, возможность использования в целях обороны, а также роль иностранной промышленности в реализации ТВЧ — все это темы жарких споров. Кроме того, развернувшаяся в вопросе о ТВЧ полемика привлекла внимание к тому факту, что наличие прочной и единой производственной базы играет ключевую роль в научно-техническом лидерстве. Она также заострила проблему тесной связи между некоторыми научно-техническими направлениями, имеющими отношение к ТВЧ. Как заявил один из официальных представителей правительственных кругов, «следующее поколение телевидения — это следующее поколение компьютеров».

Сложившаяся во всех рассмотренных направлениях ситуация выявила необходимость разработки правительством США действенной научно-технической политики. Хотя дискуссии по этому вопросу только начинаются, заметно нарастающее осознание необходимости принятия мер в четырех направлениях: укрепление производственной базы США, обновление механизма формирования научно-технической политики, модернизация инфраструктуры в сфере научно-технического развития и усиление роли правительства в стимулировании новых разработок, и в первую очередь коммерческих. Необходимость каждой из этих мер очевидна, а как их реализовать — не совсем ясно.

Дебаты относительно развития науки и техники и обеспечение конкурентоспособности неминуемо затрагивают вопросы укрепления оборонной способности США и их экономического роста. Следовательно, рассмотрение этой проблемы существенно повлияет не только на стратегические цели, которые ставит перед собой страна, но и на институты, от которых зависит формирование научно-технической политики. В прошлом США придерживались такой политики, которая скорее препятствовала, чем содействовала стремлению частного сектора как можно скорее сделать новые научно-технические

достижения достоянием рынка, поскольку правительство не считало коммерциализацию научно-технических новшеств предметом государственной важности. Но больше эти вопросы игнорировать нельзя. Такие проблемы, как введение технических стандартов, принятие закона о патентах, финансирование исследований и разработок и защита интеллектуальной собственности, которые раньше считались прерогативой никому не известных чиновников, все в большей степени будут становиться обязан-

ностью официальных представителей власти самого высокого уровня. А правительственные учреждения нужно будет переориентировать, чтобы приоритетными в сфере их деятельности стали вопросы научно-технического развития и обеспечения конкурентоспособности.

Широкие контуры новой научно-технической политики уже начинают обретать свои формы. Дело за тем, чтобы дать ход новым политическим решениям и программам, которые принесут конкретный результат.

Библиография

БУДУЩЕЕ КОСМИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ

DEEP BLACK: SPACE ESPIONAGE AND NATIONAL SECURITY. William E. Burrows. Random House, 1986.

AMERICA'S SECRET EYES IN SPACE: THE U.S. KEYHOLE SPY SATELLITE PROGRAM. Jeffrey Richelson. Harper-Business, Harper-Collins, 1990.

COMMERCIAL OBSERVATION SATELLITES AND INTERNATIONAL SECURITY. Michael Krepon, Peter D. Zimmerman, Leonard S. Spector and Mary Umberger. St. Martin's Press, 1990.

THE SOVIET YEAR IN SPACE 1989. Nicholas L. Johnson. Colorado Springs, Teledyne-Brown Engineering, 1990.

САМООРГАНИЗОВАННАЯ КРИТИЧНОСТЬ

SELF-ORGANIZED CRITICALITY. Per Bak, Chao Tang and Kurt Wiesenfeld in *Physical Review A*, Vol. 38, No. 1, pages 364—372; July 1, 1988.

EARTHQUAKES AS A SELF-ORGANIZED CRITICAL PHENOMENON. Per Bak and Chao Tang in *Journal of Geophysical Research*, Vol. 94, No. B11, pages 15635—15637; November 10, 1989.

THE PHYSICS OF FRACTALS. Per Bak and Kan Chen in *Physica D*, Vol. 38, pages 5—12; 1989.

SELF-ORGANIZED CRITICALITY AND EARTHQUAKES. Anne Sornette and Didier Sornette in *Europhysics Letters*, Vol. 9, No. 3, pages 197—202; 1989.

SELF-ORGANIZED CRITICALITY IN THE 'GAME OF LIFE.' Per Bak, Kan Chen and Michael Creutz in *Nature*, Vol. 342, No. 6251, pages 780—782; December 14, 1989.

A FOREST-FIRE MODEL AND SOME THOUGHTS ON TURBULENCE. Per Bak, Kan Chen and Chao Tang in *Physics Letters*, Vol. 147, Nos. 5—6, pages 297—300; 1990.

ПРОБЛЕМА СВОРАЧИВАНИЯ ПОЛИПЕПТИДНОЙ ЦЕПИ БЕЛКОВ

PROTEIN FOLDING. Charis Ghéllis and Jeannine Yon. Academic Press, 1982.

SPECIFIC INTERMEDIATES IN THE FOLDING REACTIONS OF SMALL PROTEINS AND THE MECHANISM OF PROTEIN FOLDING. Peter S. Kim and Robert L. Baldwin in *Annual Review of Biochemistry*, Vol. 51, pages 459—489; 1982.

PROTEINS, STRUCTURES AND MOLECULAR PROPERTIES. T. E. Creighton. W. H. Freeman and Company, 1983.

FOLDING AND ASSOCIATION OF PROTEINS. Rainer Jaenicke in *Progress in Biophysics & Molecular Biology*, Vol. 49, No. 1, pages 117—237; 1987.

PROTEIN FOLDING: DECIPHERING THE SECOND HALF OF THE GENETIC CODE. L. M. Gierasch and J. King. American Association for the Advancement of Science, 1990.

СТРОИТЕЛЬСТВО ФЛОРЕНТИНСКОГО СОБОРА

DRAWINGS OF BRUNELLESCHI'S MECHANICAL INVENTIONS FOR THE CONSTRUCTION OF THE CUPOLA. Gustina Scaglia in *Marsyas: Studies in the History of Art*, Vol. 10, pages 45—68; 1960—61.

BRUNELLESCHI'S CLOCK? Frank D. Prager in *Physica. Rivista Internazionale di Storia della Scienza*, Vol. 10, fasc. 3, pages 203—216; 1968.

BRUNELLESCHI'S DOME OF S. MARIA DEL FLORE AND SOME RELATED STRUCTURE. Rowland Mainstone in *Transactions of the Newcomen Society*, Vol. 42, pages 107—126; 1969—70.

BRUNELLESCHI: STUDIES OF HIS TECHNOLOGY AND INVENTIONS. Frank D. Prager and Gustina Scaglia. The MIT Press, 1970.

BRUNELLESCHI'S HORIZONTAL AR-

Книги издательства „Мир“

Т. Лиггетт МАРКОВСКИЕ ПРОЦЕССЫ С ЛОКАЛЬНЫМИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯМИ

1989 г. Цена 3 р. 90 к.

М. Лидбеттер и др. ЭКСТРЕМУМЫ СЛУЧАЙНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ И ПРОЦЕССОВ

1989 г. Цена 3 р. 20 к.

МОНОПОЛИ. ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ И ВАРИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ

Сб. статей 1983-86 гг.
1989 г. Цена 2 р. 80 к.

Л. Хёрмандер АНАЛИЗ ЛИНЕЙНЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ОПЕРАТОРОВ С ЧАСТНЫМИ ПРОИЗВОДНЫМИ

в 4-х томах

ТОМ 2:

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ ОПЕРАТОРЫ С ПОСТОЯННЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ

1986 г. Цена 3 р. 20 к.

ТОМ 3:

ПСЕВДОДИФФЕРЕНЦИАЛЬ- НЫЕ ОПЕРАТОРЫ

1987 г. Цена 4 р. 70 к.

Эти книги вы можете получить на-
ложенным платежом, направив за-
каз по адресу: 191040 Ленинград,
Пушкинская ул., 2, магазин № 5
«Техническая книга»



CHES AND RELATED DEVICES. Thomas B. Settle in *Annali dell'Istituto e Museo di Storia della Scienza*, Vol. 3, fasc. 1, pages 65—80; 1978.

МИРЫ ИНЫХ ЗВЕЗД

IN SEARCH OF OTHER PLANETARY SYSTEMS. David C. Black in *Space Science Reviews*, Vol. 25, No. 1, pages 35—81; January 1980.

PROTOSTARS AND PLANETS II. Edited by David C. Black and Mildred Shapley Matthews. University of Arizona Press, 1985.

LIFE IN THE UNIVERSE. Donald L. DeVincenzi in *Planetary Report*, Vol. 7, No. 6, page 3; November/December 1987.

CIRCUMSTELLAR MATERIAL ASSOCIATED WITH SOLAR-TYPE PRE-MAIN-SEQUENCE STARS: A POSSIBLE CONSTRAINT ON THE TIMESCALE FOR PLANET BUILDING. K. M. Strom, S. E. Strom, S. Edwards, S. Cabrit and M. F. Skrutskie in *Astronomical Journal*, Vol. 97, No. 5, pages 1451—1470; 1989.

A PROFUSION OF PLANETS. David C. Black and Eugene H. Levy in *the Sciences*, pages 30—35; May/June 1989.

АСПИРИН

INHIBITION OF PROSTAGLANDIN SYNTHESIS AS A MECHANISM OF ACTION FOR ASPIRIN-LIKE DRUGS. J. R. Vane in *Nature-New Biology*, Vol. 231, No. 25, pages 232—235; June 23, 1971.

NEW ASPECTS OF THE MODE OF ACTION OF NONSTEROIDAL ANTI-INFLAMMATORY DRUGS. S. H. Ferreira and J. R. Vane in *Annual Review of Pharmacology*, Vol. 14, pages 57—73; 1974.

DOSE-RELATED KINETICS OF ASPIRIN: PRESYSTEMIC ACETYLATION OF PLATELET CYCLOOXYGENASE. Anders K. Pederson and Garret A. FitzGerald in *New England Journal of Medicine*, Vol. 311, No. 19, pages 1206—1211; November 8, 1984.

MODES OF ACTION OF ASPIRIN-LIKE DRUGS. Steven Abramson, Helen Korchak, Rocio Ludewig, Henry Edelson, Kathleen Haines, Richard I. Levin, Robert Herman, Lisa Rider, Steven Kimmel and Gerald Weissmann in *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 82, No. 21, pages 7227—7231; November 1985.

THE MECHANISMS OF ACTION OF NONSTEROIDAL ANTI-INFLAMMATORY DRUGS. Steven B. Abramson and Gerald Weissmann in *Arthritis & Rheumatism*, Vol. 32, No. 1, pages 1—9; January 1989.

КОЗВОЛЮЦИЯ КУКУШКИ И ЕЕ ХОЗЯЕВ

THE CUCKOO'S SECRET. Edgar P. Chance. London, Sedgewick & Jackson, 1922.

AN EXPERIMENTAL AND TELEONOMIC INVESTIGATION OF AVIAN BROOD PARASITISM. Stephen I. Rothstein in *Condor*, Vol. 77, No. 3, pages 250—271; Autumn 1975.

THE CUCKOO. Ian Wyllie. London, Batsford, 1981.

CUCKOOS VERSUS REED WARBLERS ADAPTATIONS AND COUNTERADAPTATIONS. N.B. Davies and M. de L. Brooke in *Animal Behaviour*, Vol. 36, Part 1, pages 262—284; February 1988.

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА

COMPUTERS, PATTERN, CHAOS, AND BEAUTY. Clifford A. Pickover. St. Martin's Press, 1990.

В МИРЕ НАУКИ

Подписано в печать 15.03.91.
По оригинал-макету. Формат 60 × 90 1/8.

Гарнитуры таймс, гелиос.

Офсетная печать.

Объем 6,50 бум. л.

Бумага офсетная №1.

Усл.-печ. л. 13,00.

Уч.-изд. л. 16,79.

Усл. кр.-отт. 54,00.

Изд. № 25/8261. Заказ 271.

Тираж 14000 экз. Цена 3 р.

Издательство «Мир»

Госкомпечати СССР

129820, ГСП, Москва, И-110,

1-я Рижский пер., 2.

Набрано в Межиздательском

фотонаборном центре

издательства «Мир»

Типография В/О «Внешторгиздат»

Госкомпечати СССР

127576, Москва, Илимская, 7



Книги издательства „Мир“

К. Дежур, А. Лангани, Б. Пеллегрини и др.

ПОЛ, СЕКС, ЧЕЛОВЕК

Перевод с французского



Книга французских авторов — по материалам журнала «Ля Решерш» — содержит прекрасно иллюстрированное описание генетики, физиологии и цитологии пола и размножения, биологических основ сексуальности; рассматриваются также физиологические и социальные аспекты гомосексуализма и близкородственных половых связей. Изложение характеризуется доступностью и добротным научным уровнем, многочисленные рисунки способствуют наглядности и занимательности книги.

Для студентов — биологов и медиков, школьников старших классов, читателей, интересующихся биологией.

1992 г. 20 л. Цена 1 р. 90 к.

Заказы на книгу будут приниматься в магазинах научно-технической и медицинской книги после поступления тематического плана издательства на 1992 г. в апреле-мае 1991 г. (Поз. № 80).



В следующем номере:



КОМПЬЮТЕРЫ В АРХИТЕКТУРЕ

ЧИСЛО ПОКОЛЕНИЙ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
СОСТАВЛЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВА

ФИЗИОЛОГИЯ ВОСПРИЯТИЯ

РЕНТГЕНОВСКИЕ МИКРОСКОПЫ

ЕХИДНА

ВЕНЕРИЧЕСКИЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ В ЭПОХУ СПИДА

АКУСТИКА КЛАВЕСИНА

У ИСТОКОВ ЖИЗНИ
