

В МИРЕ НАУКИ

SCIENTIFIC
AMERICAN

Издание на русском языке



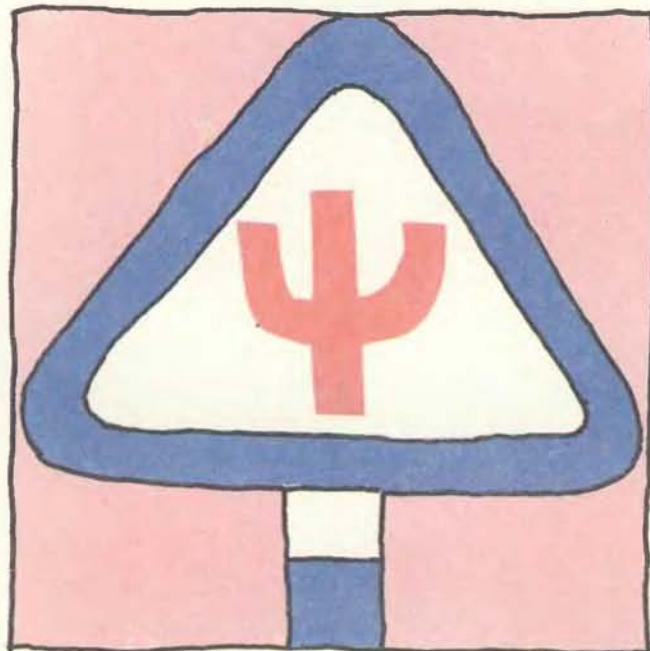
Сентябрь **9** 1990

ПИРОТЕХНИКА

Вниманию читателей!

Ж. Годфруа
ЧТО ТАКОЕ ПСИХОЛОГИЯ

В 2-х томах
 Перевод с французского



Книга
 канадского ав-
 тора — учебник
 общей психоло-
 гии с основами
 физиологии
 высшей нерв-
 ной деятель-
 ности. В
 первом томе
 рассмотрены
 подходы и ме-

тоды психологии, уровни сознания, эмоции и мотивация, научение, память, интеллект и творчество. Второй том посвящен проблемам социальной психологии (становление личности, социальное поведение, столкновение социального и биологического в человеке, нарушения психики), а также биологические основы поведения.

Для студентов — биологов, психологов, медиков, педагогов — и всех читателей, интересующихся вопросами психологии.

1992 г. 62 л. Цена 7 р. 90 к. за комплект

Заказы на книгу будут приниматься в магазинах научно-технической литературы после поступления аннотированного плана издательства в апреле 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»

№ 9 СЕНТЯБРЬ 1990

В номере:

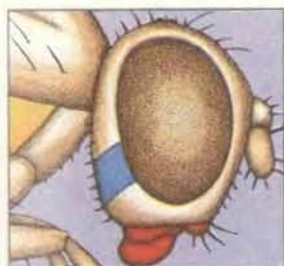
СТАТЬИ



(Scientific American, July 1990, Vol. 263, No. 1)

6 Большой климатический спор *Роберт М. Уайт*

Парниковый эффект и перспектива глобального потепления стали предметом научных и политических дебатов. Следует ли прямо сейчас принимать меры против последствий, которые мы не можем предвидеть?



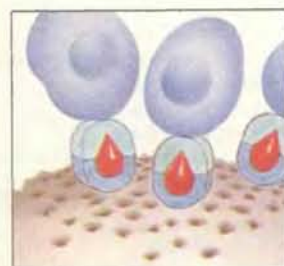
16 Гомеозисные гены и план строения тела у позвоночных животных *Эдди М. Де Робертис, Гийермо Оливер, Кристофер В.Е. Райт*

Форма тела определяется семейством родственных генов. Под их действием тело эмбриона подразделяется вдоль передне-задней оси на клеточные поля, которые превращаются в конечности и другие структуры взрослого организма



24 Большой электрон-позитронный коллайдер *Стивен Майерс, Эмилио Пикассо*

Большой электрон-позитронный коллайдер (LEP) в этом году даст жизнь миллиону Z^0 -частиц. Такой огромный объем информации позволит физикам подвергнуть тщательной, как никогда ранее, проверке современные представления о физических законах микромира



34 В чем причина диабета? *Марк А. Аткинсон, Ноуэл К. Макларен*

Ответ на этот вопрос для тех случаев, когда диабет зависит от инсулина, известен. Причиной болезни является аутоиммунное разрушение производящих инсулин клеток. Сейчас становится ясным, почему начинается атака иммунной системы на такие клетки и почему она не прекращается



44 Тенденции развития аэрокосмической индустрии

Новая космическая гонка

Элизабет Коркоран, Тим Бердсли

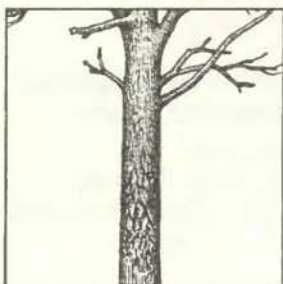
Осуществить запуск космического аппарата — задача не такая уж сложная. Вопрос в том, чтобы путешествия на орбиту были экономически оправданными



56 Пиротехника

Джон А. Конклинг

Секреты создания поразительных по красоте фейерверков вполне поддаются научному описанию. Аналогичные принципы заложены в работе разнообразных устройств — от космического шаттла до обыкновенных спичек.



64 Рак каштанов

Джозеф Р. Ньюхаус

Гриб, уничтоживший американский каштан, ныне сам подвергается биологическому нападению. Фитопатологи надеются, что новый паразит со временем обуздает своего предшественника



70 Теория Рамсея

Рональд Л. Грэм, Джоуэл Х. Спенсер

Талантливый математик Фрэнк Пламpton Рамсей доказал, что полная неупорядоченность невозможна. Каждое достаточно большое множество чисел, точек или объектов обязательно содержит высокоупорядоченную структуру

РУБРИКИ

4 Об авторах

5 50 и 100 лет назад

14, 23, 32, 42,

54, 76, 82, 91 Наука и общество

78 Занимательная математика

84 Книги

102 Эссе

103 Библиография

SCIENTIFIC AMERICAN

Jonathan Piel
EDITOR

John J. Moeling, Jr.
PUBLISHER

BOARD OF EDITORS

Alan Hall
Laurie Burnham
Timothy M. Beardsley
Elizabeth Corcoran
Deborah Erickson
Corey S. Powell
John Horgan, June Kinoshita
Philip Morrison (BOOK EDITOR)
John Rennie, Philip E. Ross
Ricki L. Rusting, Russel Ruthen
Paul Wallich, Karen Wright

Samuel L. Howard
ART DIRECTOR

Richard Sasso
VICE-PRESIDENT
PRODUCTION AND DISTRIBUTION

SCIENTIFIC AMERICAN, INC.

Claus-Gerhard Firchow
PRESIDENT AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER

Georg-Dieter von Holtzbrinck
CHAIRMAN OF THE BOARD

Gerard Piel
CHAIRMAN EMERITUS

© 1990 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. Кудряков,
Т. А. Румянцева, 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 ФОТОНАБОРА
В. С. Галкин

ТЕХНИЧЕСКИЙ РЕДАКТОР
А. В. Лыткина

КОРРЕКТОР
Р. Л. Вибке

ОФОРМЛЕНИЕ ОБЛОЖКИ РУССКОГО ИЗДАНИЯ
М. Г. Жуков

ШРИФТОВЫЕ РАБОТЫ
В. В. Ефимов

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

© перевод на русский язык
и оформление, «Мир», 1990

На обложке



ПИРОТЕХНИКА

На обложке показаны характерные красные, белые и голубые огни фейерверков. Развитие пиротехнической науки позволило приподнять завесу таинственности над этим древним ремеслом и выявить химические реакции, определяющие нужный цвет, форму и звуковые эффекты. На фотографии видны вспышки красного и голубого света, излучаемого неустойчивыми соединениями на основе стронция и меди, которые образуются непосредственно при взрыве. Алюминиевый порошок при взрыве дает ослепительную белую вспышку; более крупные частицы алюминия образуют белые искры (см. статью Джона А. Конклинга «Пиротехника» на с. 56).

Иллюстрации

ФОТО НА ОБЛОЖКЕ © Joe Viesti, Viesti Associates, Inc.

СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК	СТР.	АВТОР/ИСТОЧНИК
7	AP/Wide World Photos	36	Gabor Kiss	62	The Metropolitan Museum of Art, the Edward W.C. Arnold Collection of New York Prints, Maps and Pictures, bequest of Edward W.C. Arnold, 1954 (вверху), Fireworks by Grucci (внизу)
8	Bernard G. Mendosa, Geophysical Monitoring for Climate Change Division, National Oceanic and Atmospheric Administration	37	Mark A. Atkinson	65	Larry Brewer
9—10	Johnny Johnson	38	Gabor Kiss	66	Tom Prentiss
17—19	Patricia J. Wynne	39	Gabor Kiss (слева и справа), Don C. Wiley, Harvard University (в середине)	67	Gabor Kiss (вверху справа), Tom Prentiss (внизу слева и справа)
20	Edward Bell	40	Dana Burns-Pizer	68	Joseph R. Newhouse (вверху и внизу слева), Gabor Kiss (внизу справа)
21	Patricia J. Wynne	44, 45	Bernard Paris	69	Joseph R. Newhouse
22	Guillermo Oliver (слева), Anders Molven, University of Oregon (справа)	46—49	Joe Lertola	70	Johnny Johnson
25	George Retseck	50, 51	National Space Development Agency of Japan	71	Gabor Kiss
26	George Retseck (вверху), Johnny Johnson (внизу)	52	Glavkosmos	72—75	Johnny Johnson
27—29	George Retseck	56, 57	Albert E. Zwiazek, Superstock	78	Andrew Christie
30, 31	European Laboratory for Particle Physics (CERN)	58	Andrew Christie	79	Edward Bell
34	Gabor Kiss	59	Tri-State Manufacturing (вверху слева), Zambelli Internationale (вверху справа), John Gillmore, The Stock Market (внизу)	80	Russell Ruthen
35	William Riley, University of Florida	60	Andrew Christie	81	Edward Bell
		61	© Estate of Harold E. Edgerton, courtesy of Palm Press, Inc.		

Об авторах

Robert M. White "The Great Climate Debate" (РОБЕРТ М. УАЙТ «Большой климатический спор») — президент Национальной академии инженерных наук. Когда-то был руководителем Бюро погоды и администратором Национального управления по исследованию океана и атмосферы, а также президентом Университетской корпорации по атмосферным исследованиям и Американского метеорологического общества. В 1979 г. председательствовал на первой конференции по глобальному климату, организованной Всемирной метеорологической организацией.

Eddy M. De Robertis, Guillermo Oliver and Christopher V.E. Wright "Homeobox Genes and the Vertebrate Body Plan" (ЭДДИ М. ДЕ РОБЕРТИС, ГИЙЕРМО ОЛИВЕР, КРИСТОФЕР В.Е. РАЙТ «Гомеозисные гены и план строения тела у позвоночных животных») последние пять лет работают вместе в Калифорнийском университете в Лос-Анджелесе. Де Робертис получил степень бакалавра медицины в Уругвайском университете в 1971 г. и докторскую степень в области биохимии в Буэнос-Айресском университете в 1975 г. В 1980—1985 гг. занимал должность профессора в Биологическом центре Базельского университета. С 1985 г. он профессор биохимии Медицинского факультета Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе. Оливер получил степень бакалавра в области биологии в Уругвайском университете в 1980 г. и степень бакалавра в области молекулярной биологии в Университете в Мехико в 1984 г. Сейчас он доцент Уругвайского университета. Райт получил докторскую степень в области биохимии в Оксфордском университете в 1984 г. В настоящее время он ассистент в Медицинской школе Университета Вандербилта.

Stephen Myers, Emilio Picasso "The LEP Collider" (СТИВЕН МАЙЕРС, ЭМИЛИО ПИКАССО «Большой электрон-позитронный коллайдер») работают в Европейской организации ядерных исследований (ЦЕРН) близ Женевы. Майерс получил степень доктора философии в 1972 г. в Университете Куинз в Белфасте и в том же году стал сотрудником ЦЕРНа. С 1979 г. он играл одну из ведущих ролей при разработке проекта, строительстве и введении в эксплуатацию коллайдера LEP. В настоящее время является заместителем начальника

отдела, в ведении которого находятся протонный суперсинхротрон и ускоритель LEP. Пикассо получил степень доктора в области физики в Генуэзском университете в 1956 г. и с 1964 г. работает в ЦЕРНе; в то время он занимался прецизионной проверкой квантовой электродинамики и специальной теории относительности. С 1981 по 1989 г. Пикассо был директором проекта LEP.

Mark A. Atkinson, Noel K. Maclaren "What Causes Diabetes?" (МАРК А. АТКИНСОН, НОУЭЛ К. МАКЛАРЕН «В чем причина диабета?») — сотрудники кафедры патологической анатомии и медицинской лаборатории Медицинского колледжа Флоридского университета в Гейнсвилле. Аткинсон получил степень бакалавра в Мичиганском университете и степень доктора философии в области патологической анатомии во Флоридском университете. В настоящее время он занимает должность ассистента. Последнее время сосредоточил свои интересы на изучении белков поджелудочной железы, имеющих значение в развитии инсулинзависимого диабета. Макларен учился в Новой Зеландии. Получил степень доктора медицины в 1963 г. в Медицинской школе Университета в Отаго, после чего специализировался по внутренним болезням в Уэллингтонской больнице. Изучал также детскую эндокринологию в Университете Джона Гопкинса. Затем, в 1978 г. начал работать во Флоридском университете, где посвятил себя генетике и патогенезу аутоиммунных эндокринных заболеваний. Сейчас он профессор, возглавляет кафедру патологической анатомии.

John A. Conkling "Pyrotechnics" (ДЖОН А. КОНКЛИНГ «Пиротехника») — исполнительный директор Американской пиротехнической ассоциации и адъюнкт-профессор химии в Вашингтон-Колледже в Честертауне (шт. Мэриленд). Каждое лето проводит в колледже недельные пиротехнические семинары; эти семинары являются единственными доступными в США курсами по пиротехнике. Конклинг получил степень доктора философии в области химии в Университете Джона Гопкинса в 1969 г. Опубликовал много работ по химии пиротехники и о безопасности фейерверков. Является членом технических комиссий по взрывчатым веществам и пиротехнике Национальной ассоциации противопожарной защиты. Во

время отдыха от своих воинственных занятий предпочитает рыбалку.

Joseph R. Newhouse "Chestnut Blight" (ДЖОЗЕФ Р. НЬЮ-ХАУС «Рак каштанов») изучает молекулярную биологию и цитологию грибов — паразитов растений. В 1977 г. получил степень бакалавра биологии в Сент-Винсент-Колледже в Латrobe (шт. Пенсильвания), в 1988 г. — степень доктора философии в области фитопатологии в Университете Западной Виргинии в Моргантауне. В настоящее время работает в научно-исследовательском отделе по заболеваниям растений и сорнякам неамериканского происхождения министерства сельского хозяйства США. В свободное время увлекается фотографией, компьютерными играми и гольфом.

Ronald L. Graham, Joel H. Spencer "Ramsey Theory" (РОНАЛЬД Л. ГРЭМ И ДЖОУЭЛ СПЕНСЕР «Теория Рамсея») написали работу, разъясняющую теорию Рамсея, вместе с Брюсом Л. Ротшильдом из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе. Грэм возглавляет исследовательский отдел информатики фирмы AT & T Bell Laboratories и является профессором математики Университета Ратгерса. В 1962 г. защитил диссертацию на степень магистра по математике в Калифорнийском университете в Беркли. Это третья статья Грэма, написанная для журнала "Scientific American". Спенсер — профессор математики и информатики Института математики им. Куранта Нью-Йоркского университета. В 1970 г. защитил диссертацию на степень магистра по математике в Гарвардском университете. Спенсер проявляет особый интерес к истории венгерской математики, в частности к работам Пауля Эрдеша, которому принадлежат многие основополагающие труды по теории Рамсея.

Priscilla Johnson McMillan "Books" (ПРИСИЛЛА ДЖОНСОН МАКМИЛЛАН — автор рецензии) — стипендиат Фонда Макартура в 1988–89 гг. В настоящее время пишет книгу об истории создания в США водородной бомбы и о «деле Оппенгеймера».

Norton D. Zinder (Нортон Д. Циндер "Эссе") — профессор молекулярной генетики в Рокфеллеровском университете. Он возглавляет Консультативный комитет программы по проекту "геном человека" при Национальных институтах здоровья США.



ИЮЛЬ 1940 г. "Ученый мир был поражен известием, что результаты работы 28-летнего физика из Миннесотского университета по выделению взрывчатого изотопа урана U-235 получили новое подтверждение. Физик — Альфред Нир — несколько смущен потоком газетных публикаций о том, что не поддающиеся подсчету силы атома вскоре будут поставлены на службу человечеству. Предсказывали, что это открытие позволит создать немислимой силы бомбу, а 5—10 фунтов U-235 достаточно для обеспечения кругосветного плавания судна без дозаправки. Говорят, что в Германии в Институте Кайзера Вильгельма в Берлине собраны все исследовательские силы для поиска методов экономичного получения U-235".

"Ни один из военных самолетов, применяющихся во второй мировой войне, не годится в подметки нашим новым истребителям-перехватчикам, которые могут развивать скорость на 70 миль в час больше любого самолета нацистов и набирают высоту 10 000 футов за гораздо меньшее время, чем самый лучший по этому показателю британский самолет "Spitfire".

"Способность любого микроскопа отчетливо показывать мельчайшие предметы строго лимитирована длиной волны осветительного излучения. С помощью "коротковолнового" облучения электронами стало возможным наблюдать объекты и их детали диаметром менее 100 ангстрем — т. е. примерно 1/2 500 000 дюйма. Возникает вопрос: почему для этой цели нельзя использовать рентгеновские или гамма-лучи с длинами волн, такими же или даже меньшими, чем у электронов. Дело в том, что никому еще не удалось построить линзу для их фокусировки".

"Найден метод создания "искусственной осени". Розы роняют все свои лепестки за несколько дней, если их закрыть в одной комнате с яблоками. Открытие было сделано в Колледже шт. Орегон Дж. Милбротом, Э. Хансенем и проф. Г. Хартманом. Обычно это нежелательно, но когда большие количества розовых кустов приготавливаются для отправки на рынок, необходимо очистить их от листьев,

чтобы снизить испарение воды. Яблоки выделяют небольшое количество этилена, который и производит данный эффект. Этилен является также обычным компонентом природного газа".



ИЮЛЬ 1890 г. "Сейчас в США производится на 25—30% фейерверков меньше, чем обычно в это время. Это отчасти обусловлено забастовками рабочих в Китае (где производятся большинство средств для фейерверков), вызванных непомерными налогами, которыми обложило производителей фейерверков китайское правительство. Необходимо отметить, что не существует свидетельств использования дымного пороха в военных действиях до середины XII столетия, а сведения о его метательных свойствах попали в Китай только во время царствования императора Юнло в XV веке — на тысячу лет позже его первого применения в фейерверках".

"Защита исключительного права создателей и обладателей новых сортов фруктов и овощей на продажу образцов явилась главным предметом обсуждения на недавней встрече американских садоводов в Нью-Йорке. Предлагаемый закон — конечно похвальная попытка обеспечить селекционеров некоторой компенсацией за их труд, но она таит в себе большие неопределенности. Патенты на машины и оборудование могут быть составлены весьма точно, и каждый из них отличается от всех остальных. Но различия между сортами растений настолько неопределенны, что описание в словах вряд ли позволит отличать



Электрическая ловушка

их друг от друга. Единственным практически полезным методом представляется использование имен селекционеров".

"В шт. Коннектикут введена в действие новая телефонная станция. Телефон не будет работать, пока вы не опустите в щель монету. Если это будет монета достоинством в 5 центов, аппарат прозвонит один раз на высокой ноте; 25 центов — и он звонит на более низкой ноте, один раз. Полдоллара — аппарат звонит дважды, серебряный доллар вызывает очень низкий звонок, напоминающий звон соборного колокола".

"Считается, что у 15—20 лиц из каждой сотни людей, укушенных бешеными собаками или кошками, развивается гидрофобия. Из 2 164 человек, обратившихся в Институт Пастера до января 1887 г., летальный исход был только у 1,4%, тогда как в 1887 г. эта цифра уменьшилась до 1,3%, а в 1988 г. — до 1,16%. Касаясь этого вопроса, г-н Г. Роско говорит: "Это "состояние в скорости" между сильным и ослабленным вирусом, если укус пришелся в область нервного центра. Если первым действует ослабленный вирус, это означает жизнь; если — сильный вирус, помощь окажется бесполезной и человек умирает".

"Крейсер "Филадельфия", построенный по заказу правительства компанией Messrs. Cramp & Sons, в соответствии с контрактом прошел 4-часовые испытания. Согласно требованиям заказчика он должен развивать скорость 19 узлов в час. Если бы он не развил этой скорости, подрядчик обязан был бы выплатить 50 тыс. долл. за каждые 1/4 узла ниже нормы. Если бы его скорость превысила 19 узлов, создатели крейсера получили бы премию в 50 тыс. долл. за каждые 1/4 узла выше нормы. Испытания состоялись 25 июня у юго-восточной оконечности о. Лонг-Айленд. Корабль шел со средней скоростью 19 1/2 узла и принес своим создателям премию в 100 тыс. долл.".

"М-ру Ф. Ширеру, жителю Парижа (Франция) выдан американский патент на изобретение "электрической ловушки". Она сделана из отдельных проволочек, представляющих собой чередующиеся положительные и отрицательные электроды. Когда крыса или какая-нибудь другая потенциальная жертва пытается добраться до приманки, находящейся внутри клетки, она касается проволочек и замыкает собой электрическую цепь, погибая от тока".

Большой климатический спор

Парниковый эффект и перспектива глобального потепления стали предметом научных и политических дебатов. Следует ли уже сейчас принимать меры против последствий, которые мы не можем предвидеть?

РОБЕРТ М. УАЙТ

НА ИСХОДЕ X в. н.э. миллионы людей стали ожидать конца света, полагая, что приближающийся 1000-й год должен ознаменовать окончание того самого тысячелетия, о котором говорится в Книге откровений Иоанна Богослова. Неудивительно, что страх перед надвигающимся Судным днем заставлял совершенно нормальных людей совершать поспешные, а иногда, как стало ясно позднее, и просто глупые поступки. Одни раздавали все свое имущество, другие торопливо каялись, замаливая грехи.

В последнее десятилетие XX в. всеобщую тревогу вызвали апокалипсические пророчества другого рода. На этот раз вместо невидимой Божьей десницы перед нами — вполне осязаемые предметы и явления: дымящие заводские трубы, бензиновая гарь от автомобилей, тепловые электростанции и безудержное уничтожение лесов. Все это — источники тепла, которое продолжает поступать в перегруженную окружающую среду. Глобальное потепление климата, говорят одни, угрожает самой жизни на планете. Прогнозы ухудшения окружающей среды, возражают другие, недостаточно обоснованны и толкают на преждевременные политические шаги. Действительно ли «Земля под угрозой», как гласил заголовок статьи, открывающей последний номер журнала «Time» в 1988 г.? Или же дело обстоит так, как утверждает журнал «Forbes»: «Страх перед глобальным потеплением: классический пример преувеличения?»

Крайние точки зрения, высказываемые в средствах массовой информации, отражают разногласия между различными группами ученых — климатологов и геофизиков. Недавно ряд ведущих специалистов в области атмосферных исследований затеяли перепалку на страницах престижного журнала «Science». Используемые ими выражения, такие, как «научный хлам» или «научные выводы, прини-

маемые голосованием», отражают тот язвительный характер, который принял спор в среде ученых. Ряд членов Национальной академии наук США, включая одного из ее бывших президентов, заявляют, что политики вынуждают принимать неразумные решения на основе неопределенных научных прогнозов. Прямо противоположную позицию занимает Союз обеспокоенных ученых, призвавший недавно правительство к решительным и незамедлительным действиям. Это заявление подписали 52 нобелевских лауреата и более 700 членов Национальной академии наук США.

Несмотря на неопределенность научных выводов, и правительство, и неправительственные организации спешат перешеголять друг друга в принятии поспешных мер по «стабилизации» глобального климата. На конференциях, проводимых в различных частях света — Вашингтоне, Торонто и Гааге, Каире и Москве, — эксперты и политические лидеры призывают к действиям. В вопросе о глобальном потеплении не возникает идеологических споров между такими лидерами, как советский президент Михаил Горбачев, президент США Джордж Буш, британский премьер-министр Маргарет Тэтчер или французский президент Франсуа Миттеран.

В администрации Буша ведутся дебаты по поводу мер, к которым должно прибегнуть правительство США. На президента оказывают давление с двух сторон: Управление по охране окружающей среды и конгресс выступают за срочные действия, тогда как советник по науке и глава аппарата сотрудников Белого дома предостерегают президента от поспешных шагов. Пытаясь разрешить эти противоречия, президент Буш созвал одну и готовит вторую конференцию по проблеме глобального потепления. На первой, проведенной в апреле этого года, собрались руководители научных, промышленных и природоохранных государственных ведомств

многих стран. Другая конференция, намеченная на начало 1991 г., станет первой встречей правительств и открывает путь к заключению международной конвенции по стабилизации глобального климата.

ЕСЛИ в Белом доме все еще сильны сомнения в серьезности проблемы, то обеспокоенность конгресса уже проявляется в его сверхактивности. Приняты многие законодательные акты, затрагивающие проблему предсказываемого потепления климата. Ведущую роль в этом сыграли представители обеих партий: сенатор Тимоти Уирт от шт. Колорадо, сенатор Аль-Гор от шт. Теннесси и член палаты представителей Клаудина Шнайдер от шт. Род-Айленд. Некоторые из новых законов составлены с большим пониманием существа вопроса и будут иметь далеко идущие последствия. В них отражены предложения, затрагивающие сферы энергетики, сельского хозяйства и транспорта, а также сделан упор на расширение научных исследований.

Предлагаемые меры могут коренным образом изменить жизненно важные функции экономической деятельности человечества. Это такие разнохарактерные акции, как повышение эффективности использования энергии, сдвиг в потреблении ископаемого топлива от нефти и угля к природному газу, большее внимание возобновляемым источникам энергии и более полная утилизация ядерной и солнечной энергии. К этому перечню могут быть добавлены мероприятия по восстановлению лесов, прекращение применения хлорфторуглеродов и изменение методов ведения сельского хозяйства.

Подобные законодательные инициативы привели бы к изменению технологии и экономики такой сферы, как энергообеспечение. Должны быть пересмотрены подходы к использованию земли и воды. Экономический рост стран, зависящих от иско-

паемого топлива, может замедлиться. Обострится проблема роста населения Земли. Может ли национальная и международная политика измениться столь быстро, чтобы отреагировать на все аспекты глобального потепления, если среди ученых отсутствует согласие, а экономические и социальные последствия таких изменений учесть практически невозможно? В основе подобного политического мышления лежит слияние различных сил, действующих в научной среде, экономической сфере и движениях за защиту окружающей среды.

Идея о том, что человеческая деятельность может изменить состав атмосферы и, следовательно, земной климат, имеет глубокие исторические корни. Еще в 60-х годах прошлого века было высказано предположение, что небольшие изменения состава атмосферы способны вызвать значительные изменения климата. Возрастание содержания диоксида углерода (CO_2) и других второстепенных атмосферных газов может привести к явлению, называемому парниковым потеплением: эти газы пропускают солнечные лучи, нагревающие земную поверхность, но задерживают

значительную часть тепла, излучаемого Землей в открытый космос.

В конце XIX в. шведский ученый Сванте Аррениус рассчитал, в какой степени изменение содержания диоксида углерода может повлиять на температуру у поверхности Земли. Из его оценок следовало, что удвоение концентрации диоксида углерода привело бы к глобальному потеплению на 4—6 °C. Эти цифры не намного отличаются от современных оценок. Однако только после проведения в 1956—1957 гг. Международного геофизического года, когда ученые предприняли попытку мониторинга окружающей среды в глобальных масштабах, были получены данные, подтверждающие увеличение содержания в атмосфере диоксида углерода.

Роджер Ревелл, в ту пору директор Океанографического института Скриппса, его коллега Ганс Суэсс и его студент-дипломник Дэвид Килинг провели такие измерения. Ревелл еще до этого не уставал повторять, что, сжигая ископаемое топливо, человечество, само того не желая, проводит в атмосфере глобальный геофизический эксперимент. Он убедил Килинга разработать методы измерений, ко-

торые позволили бы осуществлять непрерывное слежение за содержанием диоксида углерода в атмосфере.

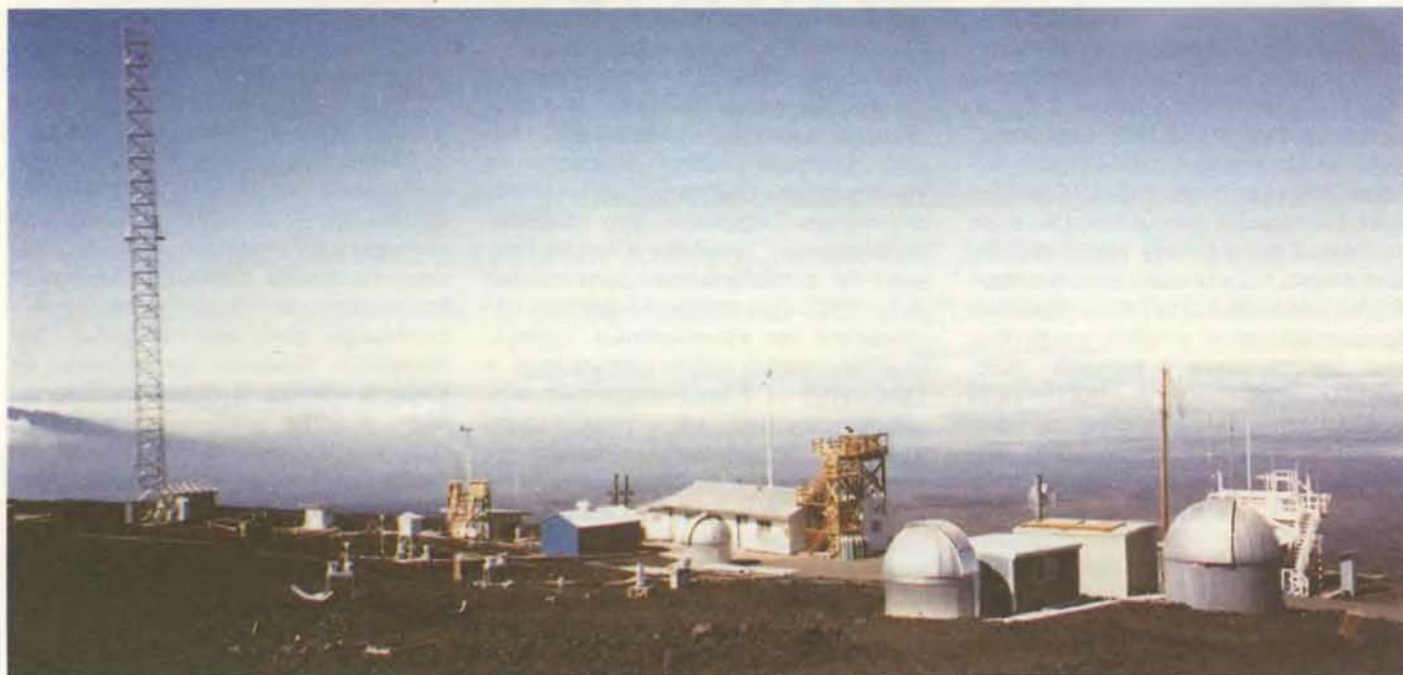
СПЕЦИАЛЬНО изготовленные приборы были установлены на обсерватории Мауна-Лоа на Гавайях на высоте 330 м, и в 1957 г. измерения начались. Полученные в результате этих измерений данные обнаружили неуклонное увеличение содержания в атмосфере диоксида углерода. Наблюдения Килинга проверялись на Южном полюсе и в других районах мира. В 1989 г. концентрация газа составляла 352 млн. $^{-1}$; если учесть, что в 1880 г. она равнялась 290 млн. $^{-1}$, то за последние сто лет прирост составил 20%.

Прямо перед началом Международного геофизического года, на противоположной от Института Скриппса стороне Северо-американского континента начал формироваться иной подход к определению климатических последствий накопления диоксида углерода. В Институте высших исследований в Принстоне, шт. Нью-Джерси, под руководством знаменитого математика Джона фон Неймана была впервые



БАРЖИ, севшие на мель на р. Миссисипи во время продолжительного спада воды в реке, — одно из последствий, вызванных небывалой засухой 1988 г. То длинное жаркое

лето привлекло внимание общественности к проблеме парникового эффекта и дало толчок политическим дебатам, продолжающимся и в настоящее время.



КЛИМАТИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ МАУНА-ЛОА на Гавайях расположена на высоте 330 м. Данные измерений, которые ведутся здесь с 1957 г., стали одним из первых доказа-

тельств неуклонного возрастания концентрации диоксида углерода в атмосфере.

предпринята попытка описать атмосферу математически с помощью цифровых компьютеров.

Командой фон Неймана, состоявшей из блестящих молодых ученых, руководил Джулиус Чарни. Ставший впоследствии известным в качестве родоначальника численного прогноза погоды, больше других способствовавший тому, что предсказание погоды из искусства превратилось в науку, Чарни продемонстрировал пригодность компьютеров для выполнения поставленной задачи. В 1950 г. фон Нейман и Чарни дали первый прогноз погоды на 24 ч, используя примитивный по нашим меркам цифровой компьютер «ЭНИАК», находившийся в распоряжении войск связи США в Нью-Джерси.

Фон Нейман, смотревший далеко вперед, назвал прогноз климата «бесконечным делом». В 1956 г. молодой исследователь из Принстонской группы, по имени Норман Филлипс, впервые попытался создать модель глобальной атмосферы. По чистому совпадению позднее, в 1963 г., в университетском городке Принстона в рамках Национального управления по исследованию океана и атмосферы (НОАА) была организована необычная лаборатория. Возглавил ее Джозеф Смагоринский — решительный и целеустремленный молодой исследователь, входивший когда-то в группу фон Неймана. Перед лабораторией ставилась задача математического моделирования атмосферы с исполь-

зованием самых больших и самых быстродействующих компьютеров, которые только имелись в ту пору.

В этом научном центре, получившем название Лаборатории геофизической гидродинамики, собрались исследователи из многих стран, воодушевленные новым подходом к исследованию атмосферы. Среди них был молодой японский ученый Сюкуро Манабе. Скромный и застенчивый, но всей душой преданный делу, он в 60-е годы в сотрудничестве со своим коллегой Ричардом Узеральдом создал первую модель климата. В 1975 г. они рассчитали, что удвоение содержания в атмосфере диоксида углерода привело бы к потеплению климата в глобальном масштабе в среднем на 3 °С. Расчеты впоследствии проверялись во многих лабораториях мира, но существенных корректив внесено в них не было.

Наблюдения Килинга вместе с расчетами Манабе и Узеральда дали толчок к массовым исследованиям возможных изменений климата. Работы такого рода ведутся теперь во многих странах, включая западно- и восточноевропейские и Советский Союз. В США Национальный научно-исследовательский совет (ННИС) организовывал подобные исследования в 1966, 1977, 1979, 1983 и 1987 гг. Работа велась под руководством таких известных ученых, как Гордон Макдональд, Ревелл, Томас Малоун, Чарни, Уильям Ниренберг и экономист Уильям Нордхаус.

ОДНАКО все эти исследования не производили волнений в политической сфере, поскольку результаты расчетов не давали каких-либо указаний на возможные негативные последствия для здоровья человека или на другие важные эффекты климатических изменений. Работа, которая оказала наибольшее воздействие в сфере политики, была выполнена в 1979 г. по указанию Фрэнка Пресса, ныне президента ННИС, а в ту пору советника по науке при президенте Джимми Картере. Кроме того, в 1979 г. руководство Всемирной метеорологической организации в Женеве, придя к выводу о потенциальной важности проблемы с точки зрения глобальных последствий, создало первую Конференцию по глобальному климату.

Постепенно осознание учеными того факта, что человечество, возможно, и в самом деле разрушает среду обитания, начало проникать и в мир политики. Несмотря на многочисленные споры относительно правильности прогнозов, даваемых компьютерными моделями, возрастание содержания парниковых газов было надежно зафиксировано во многих районах мира. Имелись и дополнительные данные, подтверждающие возрастание содержания других парниковых газов, таких, как метан и хлорфторуглероды.

Тем временем в США группы, занимающиеся математическим моделированием, стали создаваться не толь-

ко НООА, но также Национальным управлением по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА), министерством энергетики и Национальным научным фондом. Руководители лабораторий становились «наставниками» концепции потепления климата. Проницательные и изобретательные ученые, такие, как Стивен Шнайдер из Национального центра атмосферных исследований в Боулдере, шт. Колорадо, и Джеймс Хансен, руководитель Годдардовского института космических исследований НАСА, вскоре стали активно выступать в качестве экспертов на слушаниях в комиссиях конгресса.

Хотя все математические модели давали сходные результаты, детали географического распределения предсказываемых климатических изменений различались. Модели предсказывали, что накопление диоксида углерода в атмосфере должно приводить к постепенному потеплению, но что скорость этого потепления будет зависеть от темпов глобального потребления энергии. При реалистических предположениях относительно потребления энергии в будущем вышло, что количество диоксида углерода в атмосфере удвоится к середине следующего столетия.

Однако насколько возрастет темпе-

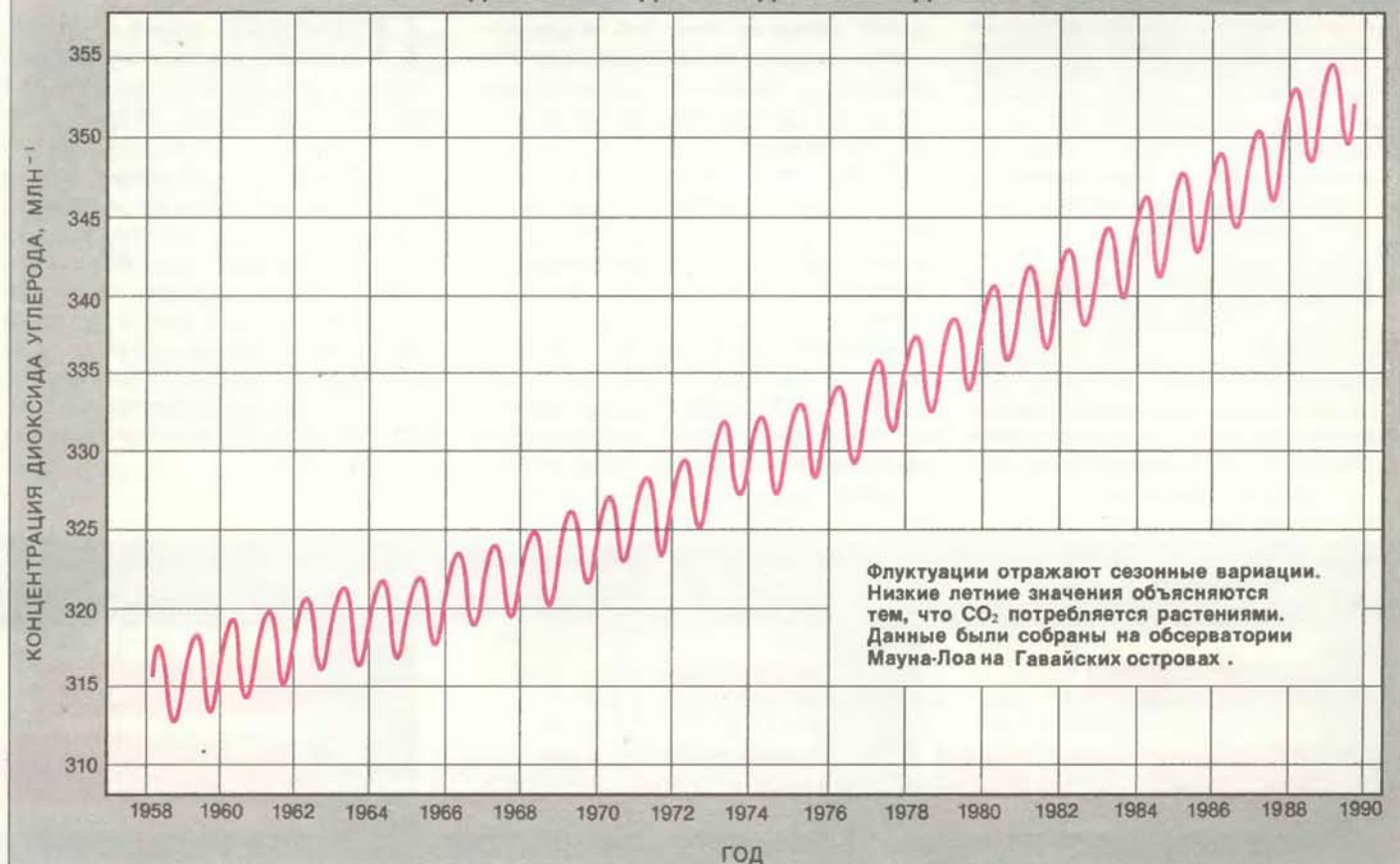
ратура в результате такого удвоения? На этот вопрос разные модели давали разные ответы. Одни предсказывали повышение всего на 1 °С, другие — на 5 °С. Различие в прогнозах стало центральным пунктом в спорах о том, являются ли модели прогноза погоды достаточно надежными, чтобы на их основании можно было принимать политические решения. Важным был и вопрос, каким на самом деле будет увеличение температуры — минимальным или максимальным из того диапазона, который давали модели. При минимальной расчетной величине потепления обычная приспособляемость человеческого сообщества была бы достаточной для того, чтобы адаптироваться к изменениям климата. Потепление с максимальной расчетной величиной привело бы к последствиям разрушительного характера.

Предсказываемые изменения температуры могут показаться незначительными, поскольку колебания такой величины мы ощущаем на себе на протяжении сезона и даже суток. Однако действительное значение таких изменений можно понять, например, из того факта, что снижение средней температуры в Европе на 1 °С привело к похолоданию, длившемуся в течение нескольких веков (примерно с

1400 по 1800 гг.) и получившему название «малого ледникового периода». Изменение на 5 °С — это та разница, которая отделяет конец последнего ледникового периода (12 тыс. лет назад) от настоящего времени. Более того, расчеты показывают, что небывалое снижение температуры в Северном полушарии произойдет всего за полвека — в 10–50 раз быстрее, чем изменения, происходившие после окончания последнего ледникового периода.

ТЕХ, кто не знаком с математическими моделями или применением компьютеров для подобных предсказаний, можно извинить за то, что они недоумевают — и даже возмущаются — по поводу значительных расхождений в результатах расчетов. Между тем математические модели дают лишь приближенное описание процессов, определяющих состояние атмосферы. Атмосфера настолько сложна, что детально воспроизвести ее в математических моделях просто невозможно. Удастся лишь приблизительно описать взаимодействие океанов и атмосферы, поглощение океанами диоксида углерода и влияние облаков на обмен энергией между земной поверхностью и атмосферой. Даже на самых мощных компьютерах

РОСТ СОДЕРЖАНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В АТМОСФЕРЕ



невозможно представить океаны, атмосферу и сушу во всех деталях: описывая состояние атмосферы, исследователи как бы «привязывают» наблюдения (или расчеты) к отдельным точкам,стоящим на 500 км друг от друга.

Эта неопределенность научных выводов и объясняет разнообразие политических призывов к действию. Одна точка зрения такова: если есть вероятность, что прогнозы, даваемые моделями, верны, то последствия могут быть настолько удручающими, что необходимы немедленные шаги, направленные на приостановление изменений климата. Другая точка зрения, также достаточно распространенная, состоит в следующем: принятие каких-либо срочных мер, влекущих за собой коренные изменения в экономике и социальной сфере, не может считаться обоснованным как ввиду неопределенности научных выводов, так и из-за отсутствия ясных представлений о необходимых экономических затратах. Глава аппарата сотрудников Белого дома Джон Сунуну, выступая осенью 1989 г. на ежегодном собрании Национальной академии инженерных наук, поддержал именно эту позицию:

«Хотя я согласен с тем, что [глобальное потепление] является важной проблемой, факт остается фактом: какими бы совершенными ни были модели, используемые для анализа и обоснования политических решений, они состоят из элементов, имеющих сотни километров в длину и ширину и десятки километров в толщину. Я думаю, никто из тех, кто занимался моделированием в инженерной области, не чувствовал бы себя уверенно, если бы ему пришлось принимать важные решения в отношении системы, элементы которой на порядок величины больше, чем детали, которые требуется описать. И однако дело обстоит следующим образом: мы движемся в направлении создания взаимозависимой международной политики, основанной на выводах, принимаемых политическими деятелями, которые не имеют никакого представления о разнице между тем уровнем достоверной вероятности, который следу-

ет иметь, и тем уровнем, который они хотят иметь. Система не может считаться правильной только потому, что она дает ответы, которые вы хотите получить. И все же в значительной мере принимаемые политические решения основываются именно на этом принципе».

Решить дилемму можно просто: поскольку за последние 100 лет содержание диоксида углерода в атмосфере возросло на 20%, мы должны зафиксировать за тот же период и потепление климата, отражающееся на средней температуре. Попытки сделать это предпринимались, но задача оказалась намного более трудной, чем виделось вначале. Отделить изменения, которые вызваны накоплением диоксида углерода, от естественных изменений — это крепкий орешек для науки. Более того, анализ средней температуры основан на наблюдениях, неравномерно распределенных по земной поверхности, нерегулярных во времени и не всегда удовлетворяющих специфическим требованиям к определению климатических характеристик.

Однако, несмотря на сказанное, американские и английские ученые детально проанализировали записи температуры, пытаюсь отыскать в них следы потепления климата. При этом делались также попытки определить, соответствует ли реальное потепление результатам расчетов по моделям. Большинство ученых сходится сейчас на том, что «климатические записи» за последнее столетие отражают неуклонное повышение средней температуры на земном шаре, достигшее 0,3—0,8 °С. Этому результату противоречит другой, а именно: на территории США, где измерения особенно многочисленны и точны, аналогичные повышения температуры за последние сто лет не замечены.

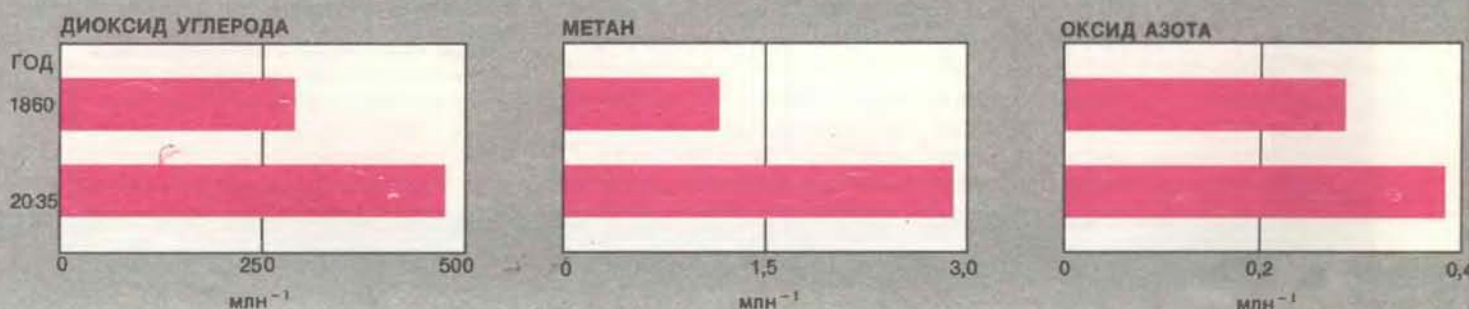
Даже если согласиться с тем, что рост температуры — вещь реальная, остается вопрос, на который ученые ответить пока не могут: объясняется ли повышение глобальной температу-

ры накоплением парниковых газов в атмосфере или это просто естественная флуктуация? Определенно утверждать можно только одно: наблюдаемое повышение температуры соответствует минимальному расчетному значению. Таким образом, длинные ряды данных измерений температуры и математические прогнозы могут быть использованы в качестве аргументов и теми, кто считает, что научные выводы оправдывают принятие немедленных действий, и теми, кто полагает, что пессимистичные пророчества недостаточно обоснованы.

Призывы к политическим действиям были инициированы, я полагаю, опустошительной засухой 1988 г. Во время этой засухи, одной из сильнейших отмеченных документально, уровень воды в Миссисипи настолько понизился, что на многих ее участках прекратилась навигация, водоснабжение городов оказалось под угрозой, а урожай во всем зерновом поясе резко упали. Как власти, так и общественность задумались: не явилось ли это событие проявлением парникового эффекта? В самом деле, как показывают данные наблюдений, в США в 1980-е годы пять лет были одними из самых жарких среди отмеченных документально, а средняя температура за это десятилетие была самой высокой по сравнению со всем периодом инструментальных наблюдений.

«**ПОДОГРЕТЫЕ**» жарой и засухой, слушания в конгрессе сосредоточились на вопросе: не вступил ли в действие парниковый эффект? Слушания проходили незаметно, пока не выступил Хансен. Он заявил, что на 99% уверен, что парниковое потепление началось и свидетельством тому — ряд теплых лет в 1980-е годы. К этим словам публика прислушалась. Выступление Хансена заставило задуматься и членов конгресса: а не следует ли тотчас приступить к выработке законов, направленных на защиту биосферы от катастрофических последствий?

ПРОГНОЗИРУЕМЫЙ РОСТ СОДЕРЖАНИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В АТМОСФЕРЕ



ИЗМЕНЕНИЕ В КАРТИНЕ ГЛОБАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА



Одни слушания сменялись другими. Исследователи атмосферы и специалисты по окружающей среде более широкого профиля начали делиться на партии: критерием служило отношение к вопросу о необходимости и оправданности срочных политических акций. Реакция тех, кто занимался проблемами окружающей среды, была быстрой и шумной. Несколько групп ученых и активистов движения за сохранение окружающей среды стали призывать к выработке международных соглашений по ограничению выбросов парниковых газов.

На этой стадии в полемику ввязались несколько влиятельных специалистов по атмосфере, считавших, что политическая активность начинает выходить за пределы, диктуемые данными науки. Два наиболее известных в стране эксперта по долгосрочному прогнозу погоды, Ричард Линдзен из Массачусетского технологического института и Джером Намиас из Океанографического института Скриппса, направили письмо президенту Бушу, в котором призвали его

не принимать никаких срочных мер. Три других члена Национальной академии наук, включая ее бывшего президента Фредерика Сейца, опубликовали под эгидой Института Маршалла доклад, в котором содержался призыв к разработке обширной программы в области математического моделирования. Они подчеркнули, что происходящее потепление климата, возможно, имеет иную причину. Большой климатический спор разгорелся.

Метеорологам не улыбалось ввязываться в еще одну дискуссию, затрагивающую их область, поскольку они уже не раз попадали впросак. В 1920 г. сэр Гилберт Уокер, в ту пору руководитель британской службы погоды в Индии, обнаружил необыкновенно сильную корреляцию между количеством осадков, температурой и давлением в Тихом океане, с одной стороны, и на Индийском субконтиненте — с другой. Стали раздаваться голоса, что проблема прогноза индийских муссонов решена. Будь это так, сделанное открытие благотворно повлияло бы на сельское хозяйство Индии. Но вскоре обнаружилось, что выявленная корреляция мало что дает в смысле предсказания погоды.

Позднее, уже в 40-х и 50-х годах, широкое распространение получила идея — основанием для нее послужили исследования покойного лауреата Нобелевской премии Ирвинга Ленгмюра из корпорации General Electric и Винсента Дж. Шафера из Университета шт. Нью-Йорк в Олбани, — что засевание облаков сухими кристалликами иодида серебра может стимулировать выпадение осадков. Несколько

десятилетий продолжались исследования, направленные на то, чтобы научиться таким способом увеличивать количество осадков, изменять силу ураганов и влиять на грозы. Однако эти усилия ни к чему не привели.

В начале 1980-х годов было высказано предположение о том, что пыль, которая попадет в атмосферу, если США и СССР обменяются ядерными ударами, вызовет «ядерную зиму». Это предположение было опровергнуто Шнайдером и другими исследователями, показавшими с помощью моделей климата, что «первоначальную гипотезу ядерной зимы следует поместить на уровень очень низкой вероятности».

В свете этой истории ошибок не кажется удивительным, что многие метеорологи ведут себя очень сдержанно и не призывают к проведению дорогостоящих мероприятий, исходя из предсказаний о потеплении климата. Однако имеются и другие силы, которые оказывают на политиков давление. Потепление климата затрагивает тех, кто борется за сохранение видового разнообразия биосферы, кто озабочен проблемами экономического развития и роста народонаселения, загрязнением воздуха в городах, кислотными дождями и разрушением слоя озона.

Политические деятели, раззадоренные общественностью, обеспокоенной возможным ухудшением среды обитания, включают эти вопросы в свои предвыборные платформы, используя их в качестве «трамплина» в политической карьере. Те, кто заинтересован в укреплении конкурентоспособности американской промышлен-



ности, видят путь к этой цели в повышении эффективности использования энергии. Согласно с ними и те, кто озабочен зависимостью США от иностранных источников энергии. Дополнительную важность приобретает вопрос использования ядерной энергии. Из-за того, что ископаемые виды топлива являются основным источником атмосферного диоксида углерода, стратегия по стабилизации климата должна учитывать возможные альтернативные источники. В этом состоит по крайней мере частичное оправдание защитников ядерной энергетики, добивающихся расширения строительства атомных станций.

Проблема глобального потепления климата служит стимулом для распространения концепции «нового экономического порядка», защищаемой странами третьего мира. Международные проекты требуют, чтобы таким странам оказывалась техническая и экономическая помощь, поскольку они должны будут участвовать в совместных усилиях по снижению загрязнения атмосферы или прекращению сведения лесов. В самом деле, наибольший рост выбросов диоксида углерода придется, очевидно, на развивающиеся страны, поскольку, развивая экономику, они будут потреблять все больше энергии.

Аналогичным образом те, кто при-

зывает к ограничению рождаемости, особенно в странах третьего мира, считают, что проблема потепления климата не может быть решена, если население Земли будет и дальше расти. В конце концов, именно люди потребляют природные ресурсы и энергию и возделывают землю. Не установив контроль за численностью населения, нельзя надеяться, что задача стабилизации климата и среды обитания на планете окажется разрешимой.

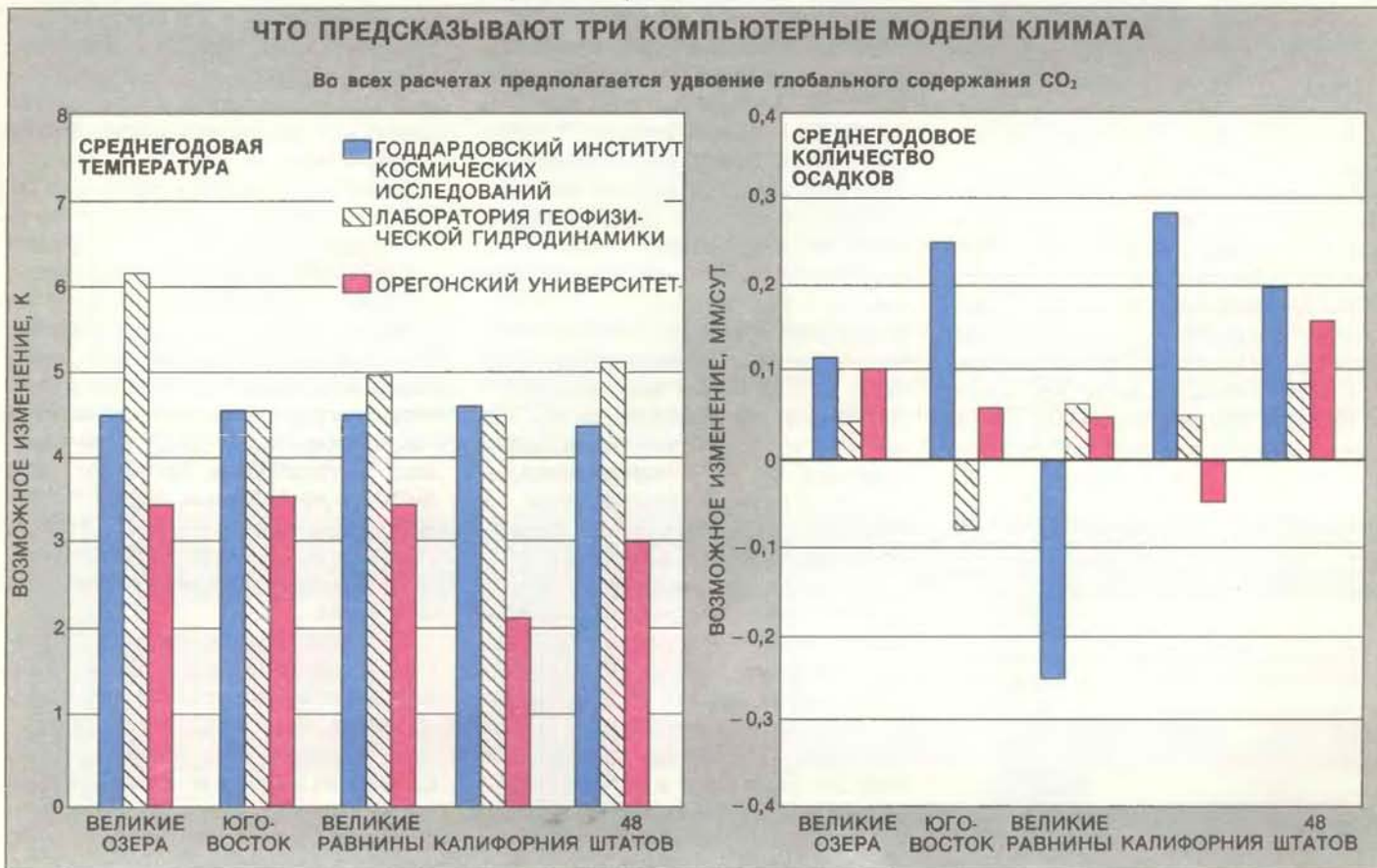
ОПРАВДАН ли страх перед возможными последствиями потепления климата? Хотя со значительными перепадами температуры люди сталкиваются и в повседневной жизни, проблема состоит в том, что мы не располагаем достаточными знаниями для предсказания тяжести последствий потепления. Поскольку потепление, если оно будет продолжаться, неравномерно распределится по земному шару, одни народы и регионы окажутся в выигрыше, а другие проиграют. В одних местах климат станет более теплым, в других более влажным, в третьих более сухим. На основании имеющихся данных мы не можем предсказать, кто выиграет, а кто проиграет при глобальном перераспределении так называемых климатических ресурсов.

По мнению специалистов по сельскому хозяйству, некоторые аспекты

климатического потепления будут носить весьма благоприятный характер. Увеличение содержания в атмосфере диоксида углерода способствует более активному фотосинтезу и ведет к увеличению урожайности, не говоря уже о том, что при большей концентрации в воздухе CO_2 растения меньше нуждаются в воде. Как сказал Джерри Маллман, директор отдела метеорологии Лаборатории геофизической гидродинамики, «то, о чем мы можем сказать с уверенностью, политиков не интересует, а о том, что их интересует, мы не можем говорить с уверенностью».

Результаты расчетов сходятся еще в одном: они показывают, что в полярных регионах земного шара температура повысится больше, чем в тропиках. Некоторые оценки увеличения температуры в полярных областях просто поражают: согласно этим оценкам, среднее повышение температуры в Арктике составит $10^\circ C$, тогда как в тропиках оно будет незначительным.

Какие самые общие последствия могут возникнуть в связи с неравномерным повышением температуры в экваториальной и полярной областях? Подобную разницу температур мы каждый год ощущаем на себе при смене сезонов. Летом, когда температура в Арктике выше, мы не страдаем от сильных зимних ветров; пояса



осадков уходят к северу. В таких регионах, как юго-запад США, устанавливается очень сухая погода.

Если бы в арктических областях климат потеплел больше, чем в экваториальных, и если бы поясам осадков пришлось сместиться дальше к северу, то для стран, расположенных в умеренных и полярных регионах Северного полушария, это могло бы оказаться большим благом. Вегетационный период там удлинился бы, а количество осадков возросло. На подходящих почвах сельское хозяйство начало бы процветать. Впрочем, все это не более чем домыслы.

ПОДОБНЫЕ домыслы возникают в «сценариях», в которых задается вопрос: «А что если?» К сожалению, таких вопросов можно задать сколько угодно. Что если речной сток на американском Юго-Западе, используемый сейчас целиком, уменьшится на 20%? Что если в зерновом поясе температура возрастет, а зона осадков сдвинется к северу? Как это отразится на сельском хозяйстве США, на доступности ресурсов и производстве энергии, на национальных парках и сохранении природы?

Последствия климатических изменений нашли отражение в исторических документах, составленных тысячи лет назад; находим мы их и в недавних климатических событиях. Известно, к примеру, что во время потепления климата на рубеже первого и второго тысячелетий датчане смогли поселиться в Гренландии, а викинги переплыли через Северную Атлантику и добрались до Северной Америки. Последующее резкое изменение климата привело к упадку поселений древних датчан, приостановило дальнейшее освоение Северо-американского континента и ознаменовало наступление малого ледникового периода. В последние несколько лет мы воочию увидели последствия засухи, затронувшей район Сахели в Африке и северо-восточную часть Бразилии (да и в целом Северную Америку).

Все эти факты навевают мысль о возможных апокалиптических событиях. Недавно в одном из фильмов телесериала «Бесконечное путешествие» американские зрители увидели Капитолий, скрывшийся под водой, — результат «кинореализации» одного из прогнозов климатического потепления. Некоторые предвидят массовые миграции людей из районов, которые окажутся непригодными для обитания. Другие опасаются, что под угрозой окажутся национальный суверенитет и национальная безопасность. Президент Горбачев заявил, что в ближайшее столетие, по



мере того как разрушительные эффекты экологических изменений будут распространяться по всему миру, предметом основной заботы всех государств станет не военная, а экологическая безопасность.

Все эти сценарии, однако, следует рассматривать, имея в виду одно обстоятельство: хотя рисуемые в них события возможны, это все-таки не настоящие пророчества. Какой же при этой неопределенности должна быть разумная линия поведения? Ясно, что следует принимать неопределенность прогнозов во внимание, но нельзя допускать, чтобы она «опережала» наши действия. В первую очередь нужно предпринимать такие шаги, которые бы отвечали экономическим интересам человечества или принципу сохранения окружающей среды — независимо от того, происходит ли в действительности климатическое потепление или нет (см. статью: Стивен Г. Шнайдер. Изменяющийся климат, «В мире науке», 1989, № 11).

Впоследствии, по мере того как новые научные знания будут уменьшать неопределенность прогнозов, можно будет, если это окажется необходимым, переходить к более дорогостоящим мероприятиям, увязывая таким образом политические шаги с состоянием научного знания. Ученые и представители других слоев общественности назвали этот подход политикой «не пожалеть впоследствии».

Недавний доклад Совета экономических советников укрепил эту концепцию. В нем говорится, что установление контроля над выбросами диоксида углерода и другие мероприятия, противодействующие изменению климата, обойдутся в сотни миллиардов долларов. Такое перераспределение ресурсов может привести к тяжелым экономическим последстви-

ям, поэтому мы должны быть достаточно уверены в том, что игра стоит свеч. Одной из основных целей всякой разумной политики типа «не пожалеть впоследствии» будет вложение средств в глобальный мониторинг и развитие математического моделирования для уменьшения неопределенности научных прогнозов.

С чего мы могли бы начать? Первым пунктом — как в национальном, так и в международном масштабе — может быть более экономное и эффективное расходование энергии и прекращение производства хлорфторуглеродов. Повышение эффективности использования энергии оправдано уже с экономической точки зрения. Успехи в этой области привели бы также к уменьшению загрязнения воздуха в городах и сокращению кислотных осадков. Сдвиг в потреблении ископаемого топлива от нефти и угля к природному газу привел бы к существенному снижению выбросов диоксида углерода в расчете на одну калорию добываемого тепла. Реально и внедрение технологии более эффективного производства энергии и более экономного ее конечного использования, что, например, выразится в увеличении пробега автомобилей на единицу количества топлива.

РАЗУМНЫЙ подход предполагает также вложение средств в разработку альтернативных источников энергии, не связанных с ископаемыми ресурсами. Обстоятельства благоприятствуют значительным новым инвестициям в потенциально безопасную, приемлемую для общественности ядерную энергетику. Имело бы смысл проводить дальнейшие изыскания и в области использования солнечной энергии — как на фотоэлектрических установках, так и на биогенераторах. Восстановление ле-

сов и меры по их сохранению — это также здравая политика, которая благоприятно отражается на экологической обстановке и на климате. Следует вести и работы по созданию сельскохозяйственных культур, устойчивых к неблагоприятным условиям и болезням.

Вместе с тем нельзя вводить общечеловеческую ответственность в заблуждение. Первые шаги, предпринимаемые под лозунгом «не пожалеть впоследствии», не решают проблемы потепления климата. Успех на этом направлении может несколько сгладить последствия потепления, но в будущем, вероятно, потребуются более решительные меры. Дело скорее всего обстоит так, что какую бы линию поведения мы ни избрали, полностью воспрепятствовать потеплению климата мы пока не в состоянии.

Достижение международных договоренностей о мерах по ослаблению последствий потепления климата будет делом нелегким и нескорым. Примером могут служить переговоры по морскому праву. Они продолжались 15 лет и привели к выработке договора, который Соединенным Штатам еще предстоит подписать в силу требований развивающихся стран предоставить им значительную экономическую и технологическую помощь. Эти вопросы встанут еще более остро при разработке любого договора по «атмосферному праву».

Возможно, человечеству придется адаптироваться к определенным изменениям климата. Характер этой адаптации пока еще не стал предметом исследований. Мы знаем, однако, что в периоды засухи или наводнений нехватка продовольствия и ухудшение условий жизни порождают массовые миграции. Социальные и политические последствия миграций, которые могут возникнуть в результате потепления климата в масштабах земного шара, угрожают стать самым серьезным потрясением из всех, которые когда-либо переживало человечество.

Имеются, впрочем, и другие формы адаптации, многие из которых опираются на технологические решения. Повышение уровня моря, которое, как предсказывают модели, должно стать одним из эффектов климатического потепления, привело бы к затоплению низменных участков побережий и загрязнению солями запасов и источников пресной воды. Общество должно сделать выбор: вкладывать ли средства в строительство защитных сооружений на побережьях или приспособиться путем изменения технологии использования земли. Дамбы в Нидерландах, возведенные для защиты от вод Северного моря,

дают великолепный пример приспособления к повышению уровня моря.

Некоторые мероприятия по адаптации могут потребовать очень большого времени. Если стоимость энергии будет продолжать расти, возникнет необходимость в организации среды обитания с высокой эффективностью использования энергии. Существующие города с их огромными приделками в виде пригородов не являются с этой точки зрения оптимальными структурами, поэтому, возможно, потребуются вернуться к более компактным поселениям. Если мы захотим продолжать вести сельское хозяйство в сухих районах, нам придется решить, вкладывать ли средства в необходимые для этого ирригационные системы. Экономический рост всей западной части США основывался на крупных инвестициях в создание запасов воды и систем ее транспортировки для орошения земель и промышленных целей.

К счастью, на этот раз фактор времени может работать в нашу пользу. Правительства обычно начинают действовать только тогда, когда угроза становится реальной. Они принимают меры перед лицом военной угрозы, а также когда какие-то районы подвергаются опасности стихийных бедствий либо на них обрушиваются такие стихийные бедствия. Если климат и будет изменяться, то, как мы надеемся, он будет изменяться медленно. Начало затопления побережий мы увидим по возрастанию количества высоких приливов и по размыванию берегов. Само потепление климата проявится в виде учащения волн

тепла или других аномалий погоды. Чтобы достигнуть значительного уровня и создать серьезные проблемы, потепление должно продолжаться, вероятно, лет 30—50. Это достаточный срок для того, чтобы мы могли успеть предпринять меры, направленные на приспособление к изменяющейся среде обитания.

Что можно сказать о споре, который ведут специалисты по атмосфере, активисты движений за сохранение окружающей среды, политические организации? Окружающая среда подвергается воздействиям со многих сторон. Потепление климата — это лишь одно из таких воздействий, возможно наиболее сложное по характеру. Если мы считаем, что изменения, происходящие в атмосфере, грозят определенными негативными последствиями, мы должны изучить эти проблемы и разработать разумные политические меры для «лечения». Неразумными были бы только две крайности: удариться в апокалипсические настроения или, подобно страусу, спрятать голову в песок, чтобы ничего не слышать и не видеть. Мы привыкли считать наше поколение гораздо более искушенным в решении проблем и куда более просвещенным по сравнению с теми, кто жил до нас. Однако, пока мы не научимся спокойно и беспристрастно братья за проблемы сохранения окружающей среды, не впадая при этом в панику и не стремясь извлечь из ситуации сиюминутные эгоистические выгоды, мы не можем претендовать на ту лестную характеристику, которую наше поколение дало самому себе.

Наука и общество

Готические манускрипты

БОЛЬШОЕ количество знаний древних дошло до нас в виде средневековых рукописей, в которых монахи-переписчики, нанося новый текст на древние пергаменты, не полностью удаляли первоначальное содержание. Эти рукописи — так называемые палимпсесты (от греч. «очищенный вновь») — привлекают внимание целых поколений ученых-филологов. Некоторые тексты остались нерасшифрованными и по сей день, даже с применением ультрафиолетовых сканирующих устройств, которые высвечивают чернила, сохранившиеся в толще пергамента, вызывая их флюоресценцию.

Дж. Марчанд, филолог из Иллинойского университета в Урабана-Шампейне, совместил ультрафиоле-

товое сканирование с цифровыми методами улучшения изображения, которые разрабатывались для космических программ. В подвале своего дома он установил аппаратуру, предназначенную для восстановления рукописей готы, которые правили Италией после падения Рима и говорили на одном из германских языков, не сохранившемся до нашего времени.

Марчанд использует специальную видеокамеру для преобразования ультрафиолетовых фотографий в цифровую форму, состоящую из 1 млн. элементов изображения, имеющих 256 степеней яркости. Затем эту информацию обрабатывает компьютер, определяет границы букв, удаляет фоновые помехи и устанавливает необходимую яркость. «Вы не поверите, что иногда получается, — говорит он. — Мы читаем рукописи, которые

не могли прочитать раньше, и можем теперь печатать рисунки, которые не могли раньше напечатать”.

Главной целью своей работы Марчанд видит издание копий редких манускриптов. Он хочет сделать их доступными для студентов и ученых, причем в форме, наиболее близко соответствующей оригиналу. Марчанд изготовил шрифт, повторяющий почерк переписчика. Это позволяет ему создавать копии, которые во многих отношениях превосходят оригинал.

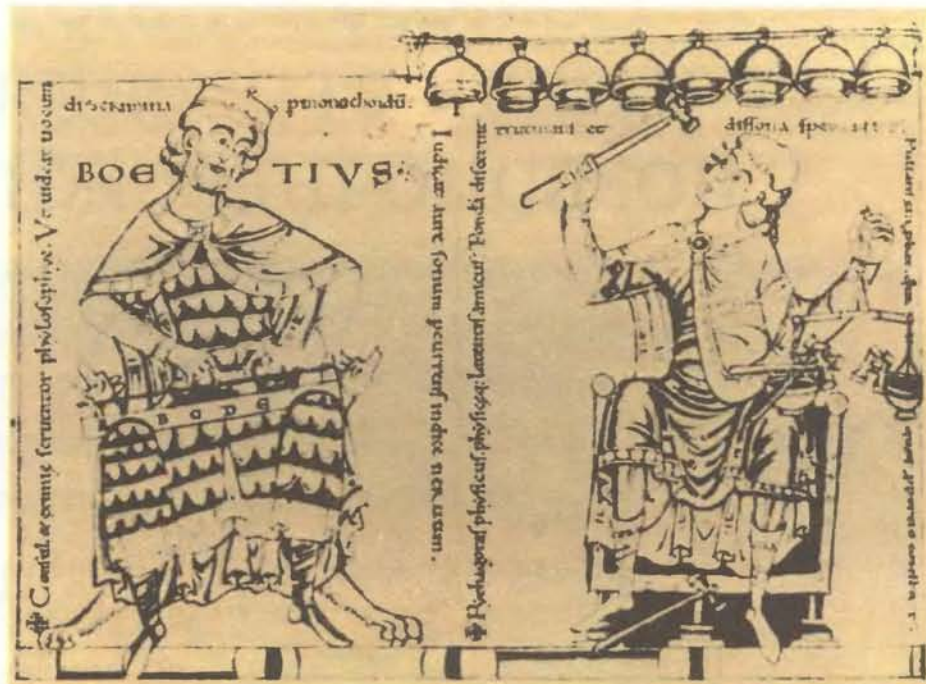
Такая детальность особенно важна для понимания причин, приведших к неправильной интерпретации буквы или слова. Марчанд уже восстановил страницу из Codex Argenteus — готического “Нового завета” — и напечатал ее для научных и не только научных целей. Он сделал себе футболку, на которой изображена страница из Codex.

Марчанд мечтает о расширении своей подвальной мастерской до размеров национального архива, в котором можно будет анализировать и хранить в памяти компьютеров манускрипты, представленные в цифровом виде. В таком архиве будут содержаться также голографические изображения надписей на готических надгробных плитах. Может быть, он будет подсоединен к компьютерной сети Иллинойского университета — национального суперкомпьютерного центра. Наличие такого полезного и легкодоступного источника информации не только поможет изучению истории средних веков, но также послужит противовесом тем ученым и владельцам частных коллекций, которые “монополизировали” большую часть мировых манускриптов.

Пифагоровы колокола

МЫ ЧАСТО представляем себе древних греков как отвлеченных мыслителей, ушедших от суровой реальности в более возвышенный интеллектуальный мир. Это безусловно справедливо в отношении Платона (429—347 гг. до н. э.) и, возможно в меньшей степени, его более молодого современника — Аристотеля (384—322 гг. до н. э.). Но этого нельзя сказать о жившем гораздо ранее гиганте мысли — Пифагоре (570—497 гг. до н. э.).

Хорошо известный по своим работам в области математики (в частности, теореме Пифагора, утверждающей, что квадрат гипотенузы прямоугольного треугольника равен сумме квадратов двух других его сторон), он был также выдающимся экспериментатором, создавшим первую научную лабораторию и установившим причи-



ПИФАГОР (справа) проводит эксперименты с колоколами и молотками (которые он взвешивает на весах в левой руке). Иллюстрация из “Истории 5 веков” римского автора Боэция. Боэций изобразил также и себя (слева) с монохордом в руках. Этот музыкальный инструмент Пифагор, возможно, использовал в экспериментах по акустике.

ны, от которых зависят вибрационные свойства физических тел. Последнее обычно приписывается Галилею.

Так считает А. Димарогонас — профессор механики из Университета Вашингтона. Димарогонас делает свои выводы, изложенные им в журнале “Journal of Sound and Vibration”, на основании изучения трудов римского историка Боэция (480—524 гг. н. э.). Хотя Боэций жил на 1000 лет позже Пифагора, он, вероятно, имел доступ к некоторым работам последнего, которые, по словам Димарогонаса, теперь утеряны безвозвратно. Описания жизнедеятельности Пифагора, сделанные Боэцием, отчасти подтверждаются другими античными авторами, такими, как Витрувий (I в. до н. э.), Теон Смирнийский (II в. н. э.) и Проклий Лиций (V в. н. э.).

Согласно этим и другим авторам, Пифагор родился и вырос на греческом острове Самос, но прожил большую часть жизни в Кротоне — городе на юге Италии. Как указывает Димарогонас, там он основал школу, куда отправляли учиться своих детей богатые горожане. И именно там, по утверждению Боэция, Пифагору пришла в голову мысль заняться исследованием природы вибрации.

Однажды, проходя мимо кузнечных мастерских, он удивился, что молоты разных кузнецов звенят на разной высоте. Пифагор решил, что высота звука зависит от силы удара молота и, таким образом, от силы того или иного кузнеца. Для проверки сво-

ей гипотезы он попросил рабочих поменяться молотами. К его удивлению, молоты звенели на одной и той же высоте, даже когда ими стучали разные кузнецы.

Затем, согласно Боэцию, Пифагор направился домой и стал проводить дальнейшие эксперименты — с колоколами, свирелями, струнами и глиняными сосудами. Он построил монохорд — однострунный музыкальный инструмент, который использовал для изучения природы звука. Таким образом, по словам Димарогонаса, дом Пифагора был превращен в настоящую лабораторию.

В конце концов, как пишет Боэций, Пифагор понял, что высота, на которой звенит какой-либо предмет, — и, следовательно, частота вибрации — зависит не от силы, с которой по нему ударяют, а от внутренних свойств предмета: материала, из которого он сделан, размера, веса, длины и, в случае струны, от внутреннего напряжения. По словам Димарогонаса, Галилей спустя 2 тыс. лет, работая с маятником и другими инструментами, заново установил эти же самые принципы и снискал славу первооткрывателя.

В результате своих исследований Димарогонас пришел к выводу, что почти каждое научное “открытие” имеет прецедент: хотя Пифагор был, по-видимому, первым, кто доказал теорему, носящую его имя, вавилоняне задолго до него знали и использовали это математическое правило.

Гомеозисные гены и план строения тела у позвоночных животных

Форма тела определяется семейством родственных генов.

Под их действием тело эмбриона подразделяется

вдоль передне-задней оси на клеточные поля,

которые превращаются в конечности

и другие структуры взрослого организма

ЭДДИ М. ДЕ РОБЕРТИС, ГИЙЕРМО ОЛИВЕР, КРИСТОФЕР В.Е. РАЙТ

ОПЛОДОТВОРЕННАЯ яйцеклетка выглядит гомогенной, а затем из нее в ходе клеточных делений постепенно формируется эмбрион, тело которого состоит из кожи, мышц, нервов и других тканей. Однако общий план строения, который определяет главные части тела — голову, туловище, хвост и др., — фиксируется задолго до того, как большинство клеток тела начинает специализироваться. Следуя этому плану, идентичные на первый взгляд комбинации тканей образуют четко различимые анатомические структуры, например руки и ноги.

В последнее время достигнуты значительные успехи в расшифровке механизмов, управляющих этим казавшимся прежде таинственным процессом. Благодаря стремительному развитию методов молекулярной биологии удалось выделить и охарактеризовать гены, обеспечивающие выбор пути развития в процессе становления плана строения тела. При этом ключевую роль играет семейство генов, которые называются гомеозисными. Они осуществляют подразделение раннего эмбриона на клеточные поля, которые обладают способностью развиваться в определенные ткани и органы.

Удачным примером становления формы тела у позвоночных животных служит развитие южно-африканской шпорцевой лягушки *Xenopus laevis*. Этот вид является излюбленным объектом современной эмбриологии, поскольку самки могут в любое время года откладывать по полторы тысячи крупных яиц, которые легко оплодотворяются. Все позвоночные развиваются сходным образом, поэтому многие механизмы раннего эмбриогенеза лягушки свойст-

венны также рыбам, курам, человеку и другим животным.

Раннее развитие поражает своей быстротой. Приблизительно через 90 мин после оплодотворения яйцеклетка шпорцевой лягушки делится, и возникают две клетки. Затем клетки делятся синхронно каждые 30 мин до тех пор, пока их число не достигнет 4 тыс. На этой стадии, называемой средней бластулой, эмбрион имеет форму полой сферы. При рассмотрении невооруженным глазом все клетки кажутся одинаковыми, однако судьба некоторых из них, расположенных в области экватора средней бластулы, уже предопределена — они станут слоем клеток, который называется мезодермой. Образование мезодермы индуцируется белковыми факторами роста, которые выделяются большими содержащими много желтка клетками, расположенными у нижнего полюса эмбриона.

В ходе процесса, который получил название гаструляции, весь слой мезодермы перемещается внутрь эмбриона. К концу гаструляции формируются три слоя, четко различающиеся по своим потенциам — мезодерма, энтодерма и эктодерма. Большая часть тела образуется из мезодермы, в том числе позвоночный столб, мышцы, кости и стенка тела. Энтодерма дает начало эпителиальному слою ткани, выстилающему пищеварительный тракт, а также различные органы, в том числе легкие, печень и поджелудочную железу. Эктодерма превращается в кожу и нервную систему.

Развитие нервной системы из эктодермы происходит в ответ на химические сигналы, поступающие из подлежащей мезодермы. Эти сигналы индуцируют утолщение части эктодермы с образованием структуры, на-

зываемой нервной пластинкой. (Эта стадия эмбрионального развития называется нейрулой.) Затем края нервной пластинки сближаются друг с другом, а ее середина погружается в тело эмбриона. В конце концов края сливаются и образуется нервная трубка, которая служит основой головного и спинного мозга.

ДЕТЕРМИНАЦИЯ передне-задней оси эмбриона (от головы к хвосту) — это важная веха в развитии, так как в результате возникает главная линия, вдоль которой позднее развиваются структуры организма. Р. Харрисон из Йельского университета первым показал, что эмбриональные клетки коммитируются по пути образования конечностей и других анатомических структур вскоре после завершения гаструляции. В 1918 г. Харрисон пересадил кусочки боковых участков мезодермы из одного нейрула в другие. Если при этом трансплантат был взят из определенной области тела нейрулы-донора, то у реципиента из него всегда развивалась дополнительная передняя конечность. Харрисон сделал вывод, что хотя мезодерма у этих эмбрионов состояла из внешне неотличимых друг от друга клеток, эти клетки уже каким-то образом «знали», какой части тела они принадлежат.

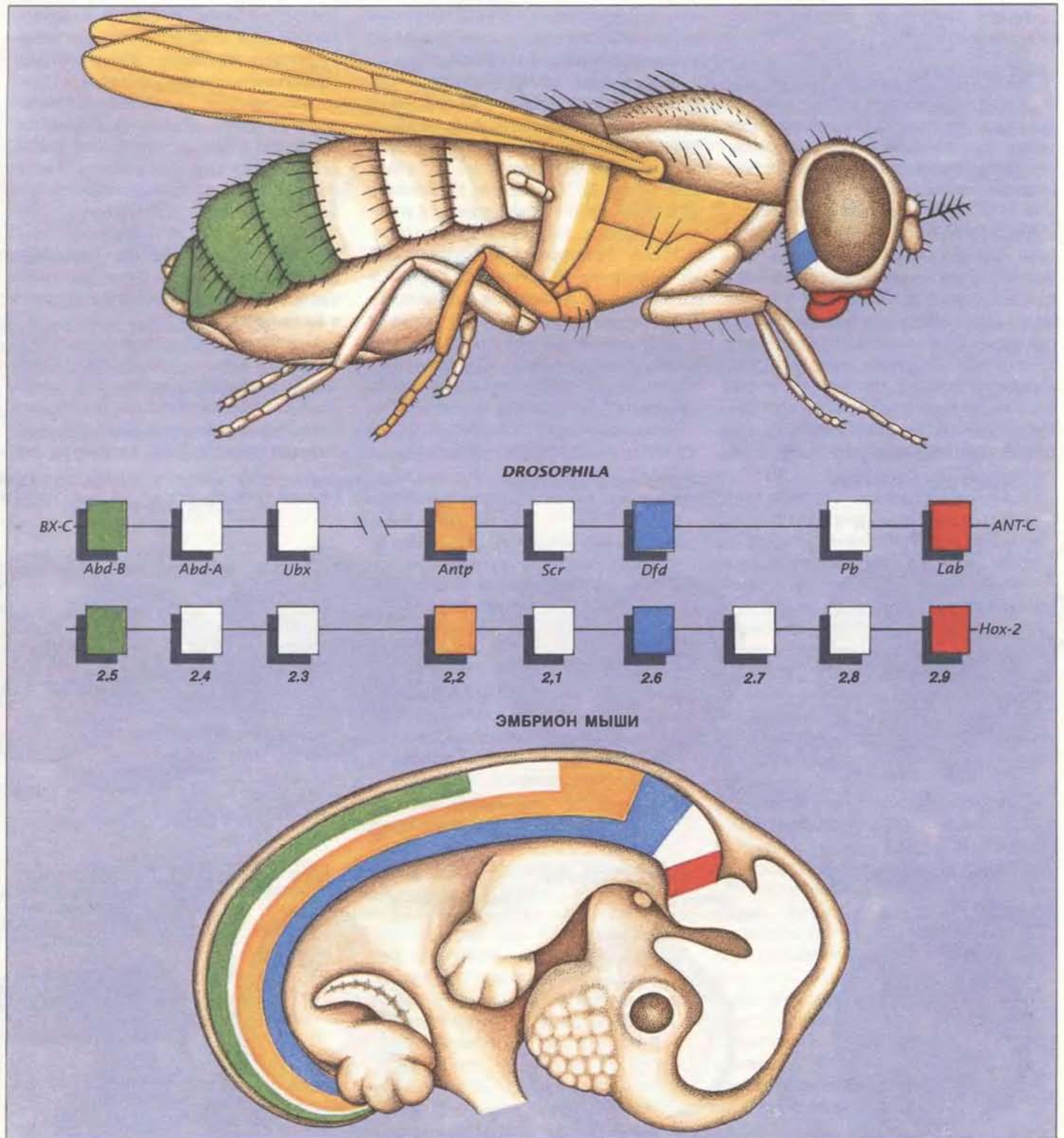
Харрисон заметил, что, даже если удалить у эмбриона всю мезодерму, которая в норме образует переднюю конечность, она все-таки может вырасти. Этот факт он объяснил, предположив, что окружающая область мезодермы также обладает потенциальной способностью индуцировать и обеспечивать рост конечности. Такие широкие участки, потенциально спо-

собные к формированию определенных структур, получили название морфогенетических полей.

По стопам Харрисона многие исследователи проводили эксперименты по трансплантации на эмбрионах

амфибий. Эти исследования показали, что именно мезодерма определяет, какой конец эмбриона станет головой, а какой — хвостом. Была составлена карта мезодермы нейрулы амфибий, т. е. ее разделение на мор-

фогенетические поля, соответствующие ряду органов — жабрам, балансам (это структуры, позволяющие удерживать тело в нужном положении), ушам, передним конечностям, задним конечностям, хвосту и т. д.



ГОМЕОЗИСНЫЕ ГЕНЫ управляют развитием у самых разных животных — и у плодовой мушки *Drosophila melanogaster*, и у мыши. Эти гены обеспечивают разделение тела эмбриона вдоль передне-задней оси на полосы с различными потенциями развития. Расположение гомеозисного гена в хромосоме связано с тем, в каком участке тела он экспрессируется: чем «правее» по хромосоме, тем ближе к переднему концу тела зона экспрессии гена. По-

видимому, все гомеозисные гены имеют общее эволюционное происхождение. На этой схеме родственные гомеозисные гены дрозофилы и мыши, а также части тела, формированием которых они управляют, окрашены одинаково. Вероятно, механизм определения относительного расположения головы, туловища и хвоста, раз возникнув в ходе эволюции, в дальнейшем лишь модифицировался.

В пределах данного морфогенетического поля способность к образованию органа постепенно изменяется. Поэтому возникло предположение, что каждое морфогенетическое поле содержит градиент информации, определяющей развитие органа. Как станет ясно из дальнейшего, действие этих градиентов тесно связано с характером экспрессии определенных наборов генов.

НЕЗАДОЛГО перед окончанием второй мировой войны в исследованиях становления плана строения тела изучение влияния мезодермы путем трансплантации у амфибий сменилось генетическими методами. В 1948 г. Э. Льюис из Калифорнийского технологического института начал свой удивительный по проникательности анализ гомеозисных мутаций у плодовой мушки *Drosophila melanogaster* (эти работы он продолжает по сей день). При гомеозисных мутациях вместо той или иной части тела возникает структура, которая в норме располагается в другом месте. Например, мухи с мутацией *bithorax* вместо одной пары крыльев имеют две; у му-

тантов *Antennapedia* на месте антенн растет дополнительная пара ног.

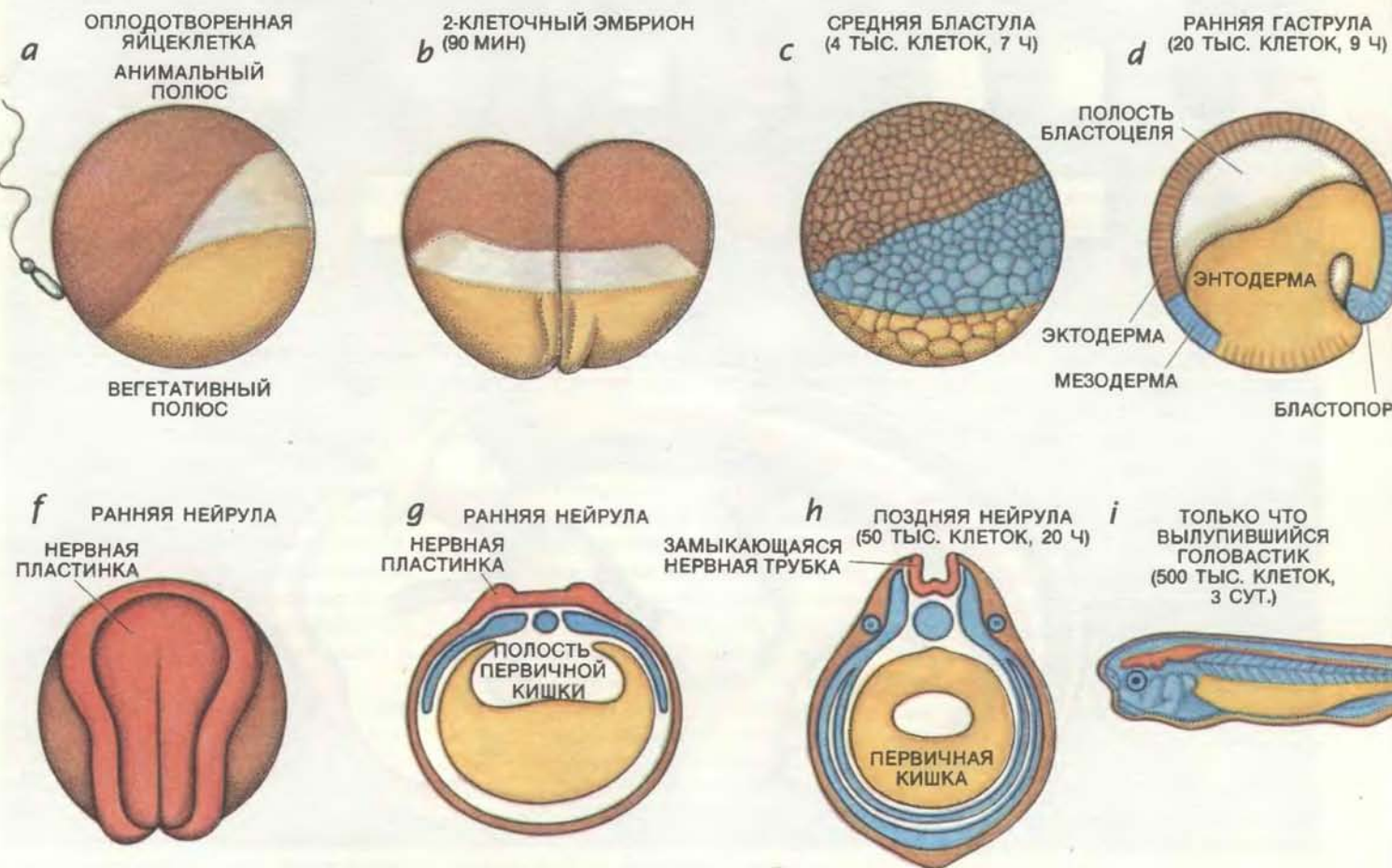
Льюис установил, что гомеозисные изменения могут быть обусловлены мутацией в одном гене, хотя для развития неправильно расположенной ноги или крыла требуется активность сотен генов. Логично было предположить, что такие мутации затрагивают регуляторные гены, которые управляют деятельностью большого числа подчиненных им генов.

Как только исследователи с помощью генной инженерии получили возможность выделять гены, в области изучения гомеозисных генов началось острое соревнование. В начале 80-х годов Д. Хогнессу и У. Бендеру из Станфордского университета впервые удалось выделить гены *Ultrabithorax*, *Abdominal-A* и *Abdominal-B* из комплекса *Bithorax*. В. Геринг и Р. Гарбер из Биоцентра Базельского университета, а также М. Скотт и Т. Кауфман из Университета шт. Индиана выделили гены комплекса *Antennapedia*, в том числе *Labial*, *Proboscipedia*, *Deformed* и *Antennapedia*.

Важнейшее открытие было сделано в 1983 г. Герингом совместно с

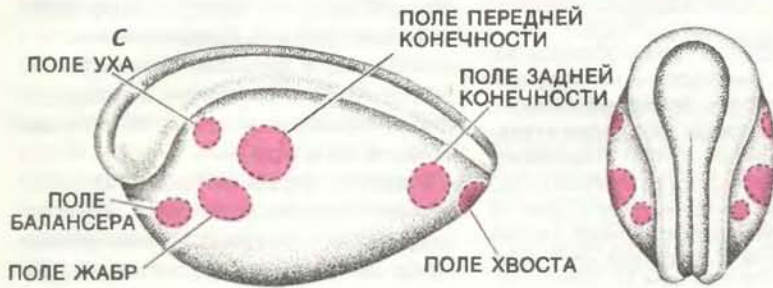
У. Макгиннисом. Они обнаружили, что ген *Antennapedia* содержит последовательность ДНК, которая имеется также в другом гене из числа управляющих развитием. (Если в разных генах встречаются сходные последовательности, их называют консервативными.) Поскольку консервативные последовательности ДНК способны гибридизоваться, т. е. связываться друг с другом, можно помечать радиоактивным изотопом консервативную последовательность из какого-то гена, например *Antennapedia*, и использовать ее в качестве зонда для обнаружения других генов, содержащих сходные участки. Таким способом Геринг и Макгиннис сумели выделить гены *Ultrabithorax*, *Deformed* и другие гомеозисные гены. Консервативный участок ДНК был независимо выявлен Скоттом, работавшим в Колорадском университете в Боулдере.

Как показал Макгиннис, у других беспозвоночных — таких, как многоножки и земляные черви, — от которых, как предполагается, произошли насекомые, тоже есть этот консервативный участок ДНК. Очевидно, мо-



ПЛАН СТРОЕНИЯ ТЕЛА У ПОЗВОНОЧНЫХ ЖИВОТНЫХ, как это показано на примере шпорцевой лягушки *Xenopus laevis*, устанавливается благодаря образованию и перемещению клеточных слоев в результате химической индукции. Претерпев ряд быстрых клеточных делений (a—c), оплодотворенная яйцеклетка превращается в полую сферу, стенка которой состоит из клеток. Крупные содержащие много желтка клетки, расположенные у вегетативного

полюса эмбриона, выделяют белковые факторы роста, которые индуцируют превращение клеток, расположенных над ними, в слой мезодермы (синий). Мезодерма играет ключевую роль в определении передне-задней полярности эмбриона. Еще два слоя клеток — эктодерма (коричневая) и энтодерма (желтая) — образуются в процессе гастрюляции, в ходе которой мезодерма перемещается внутрь эмбриона (d—e). На стадии нейрулы (f—g) мезодерма инду-



ТРАНСПЛАНТАТЫ мезодермы индуцируют образование дополнительных конечностей или органов. Например, если пересадить участок мезодермы из области будущей передней конечности (а) от одного эмбриона на стадии нейрулы другому, у эмбриона-реципиента вырастает дополнительная передняя конечность (b). Путем таких экспериментов установлены морфогенетические поля, определяющие развитие различных структур (с).

лекулярная структура генов, управляющих эмбриональным развитием, сходна. Консервативный участок в гомеозисных генах получил название гомеобокс.

Гомеобокс кодирует последовательность из 60 аминокислот, которая очень сходна у белков — продук-

тов большинства гомеозисных генов. В составе белка эта последовательность называется гомеодоменом. Ее функция заключается в том, чтобы узнавать специфические последовательности в генах, которые регулируются гомеозисными генами, и связываться с ними (см. статью: В. Геринг, Молекулярные основы развития, «В мире науки», 1985, № 12).

В полипептидной цепи гомеодомена четыре участка, имеющих структуру α -спирали; один из них обеспечивает узнавание специфической последовательности ДНК. Этот участок почти одинаков у разных белков, и потому все белки, содержащие гомеодомен, связываются с довольно сходными последовательностями ДНК. В результате связывания таких белков с соответствующими последовательностями ДНК активируется или подавляется экспрессия генов, подчиненных гомеозисным генам.

НАШИ исследования гомеобокса начались в 1983 г., когда в Биоцентре в Базеле один из авторов (Де Робертис) работал в лаборатории, располагавшейся на одном этаже с лабораторией Геринга. Некоторое время мы занимались исследованиями развития *Xenopus laevis* (см. статью: Gene Transplantation and the Analysis of Development, by Eddy M. De Robertis and J.B. Gurdon; "Scientific American", December, 1979). Под впечатлением успехов в изучении дрозофилы нам стало ясно, что если ставить себе целью столь же глубоко разобраться в развитии позвоночных, надо найти у них подобные регуляторные гены.

Однако на этом пути непреодолимым препятствием казалось отсутствие данных по генетике лягушки. И хотя генетика мыши была изучена

достаточно основательно, реальных кандидатов на роль регуляторных генов эмбриогенеза не находилось.

Мы решили проделать эксперимент, который представлялся — по крайней мере в то время — довольно неразумным: попробовать выделить из ДНК лягушки ген, подобный гену *Antennapedia*, используя зонды Геринга и Макгинниса, содержащие гомеобокс дрозофилы. Было мало оснований рассчитывать, что в ДНК лягушки имеется такой ген или что у двух видов животных, эволюционно весьма далеких друг от друга, гены структурно сходны. Тем не менее мы полагали, что попытаться стоит, хотя некоторые наши коллеги скептически оценивали осуществимость такого эксперимента и двое сотрудников даже отказались принимать в нем участие.

А вскоре мы отмечали успех бутылкой шампанского. Первый же опыт, поставленный при участии А. Карраско, работавшего в нашей лаборатории после защиты докторской диссертации, оказался удачным: удалось выделить ген лягушки, который теперь называется *XlHbox 1*. При анализе его нуклеотидной последовательности подтвердилось, что в нем имеется гомеобокс. Это убедительно свидетельствовало в пользу того, что наконец у позвоночного животного идентифицирован ген, непосредственно управляющий развитием.

Тогда мы и вообразить не могли, что только через шесть лет интенсивной работы многих лабораторий будет действительно доказано, что гены, содержащие гомеобокс, непосредственно участвуют в регуляции развития у позвоночных. Однако первые успехи в изучении млекопитающих были достигнуты быстро. Ф. Раддл из Йельского университета (который



цирует превращение части эктодермы в нервную пластинку (красная). На поперечном разрезе (h—i) видно, что нервная пластинка замыкается в трубку, из которой образуются спинной и головной мозг взрослого животного (j).



БЕЛКИ, СОДЕРЖАЩИЕ ГОМЕОДОМЕН, связываются с ДНК и таким образом регулируют экспрессию генов. В молекуле такого белка имеется варибельный участок, который и определяет специфическую активность белка, маленький шарнирный участок и гомеодомен, представляющий собой последовательность из 60 аминокислот, очень сходную у всех белков этой группы. Аминокислотная последовательность гомеодомена кодируется последовательностью ДНК, называемой гомеобоксом, входящей в состав соответствующего гена. В гомеодомене 4 α -спиральных участка (1 — 4), один из которых (красный) узнает специфическую последовательность ДНК в гене-мишени и связывается с ней.

работал тогда в Биоцентре в Базеле) и П. Грюсс из Института экспериментальной медицины им. Макса Планка в Геттингене выделили ряд содержащих гомеобокс генов мыши, а Д. Бончинелли из Неапольского университета обнаружил такие гены у человека. Аминокислотные последовательности белков, которые кодируются этими гомеозисными генами, сильно различаются, и только гомеодомен очень консервативен.

Список белков, содержащих гомеодомен, расширился в 1988 г., когда впервые были выделены факторы транскрипции. Эти белки усиливают экспрессию определенных генов-ми-

шеней. Когда определили структуру факторов транскрипции, выяснилось, что некоторые из них содержат гомеодомен, а значит, являются продуктами генов, содержащих гомеобокс. Эти исследования послужили независимым подтверждением того, что гены, содержащие гомеобокс, регулируют активность других генов.

Каким образом гомеозисные гены управляют дифференцировкой клеток в процессе развития? Некоторые указания на это дало рассмотрение участков тела эмбриона, в которых присутствуют белки, кодируемые гомеозисными генами, на разных стадиях развития. Например, у эмбриона

Xenopus белок *XIИbox 1* обнаруживается в узкой полоске клеток непосредственно позади головы. Эта полоска включает в себя мезодермальные клетки, переднюю часть спинного мозга, а также нервный гребень.

В этих тканях наблюдаются поразительно ровные параллельные передняя и задняя границы области экспрессии гена *XIИbox 1*. Поскольку мезодерма, как известно, определяет передне-заднюю поляризацию нервной ткани, можно предположить, что мезодерма, в которой экспрессируется ген *XIИbox 1*, также индуцирует его экспрессию в лежащей над ней нервной пластинке.

В других частях эмбриона активны другие гомеозисные гены. По распределению экспрессии гомеозисных генов эмбрион в передне-заднем направлении подразделяется на клеточные поля, различающиеся по своим потенциалам. Такое подразделение предшествует образованию специализированных структур и органов.

Хотя гомеодомены белков, кодируемых различными гомеозисными генами, структурно очень близки, их можно идентифицировать по характерным различиям в аминокислотных последовательностях. Некоторые гомеодомены похожи друг на друга гораздо больше, чем другие. Любопытно, что обнаружилось значительное сходство ряда гомеодоменов млекопитающих и дрозофилы.

ЗАМЕЧАТЕЛЬНОЕ наблюдение было сделано при анализе распределения экспрессии различных гомеозисных генов у мыши Р. Крумлауфом из Совета медицинских исследований в Лондоне и независимо Д. Дюбулем из Европейской лаборатории молекулярной биологии в Гейдельберге. Ранее было показано, что как у позвоночных, так и у беспозвоночных гомеозисные гены расположены в хромосоме кластерами, т. е. группами. Другими словами, в линейной хромосомной ДНК гомеозисные гены организованы в определенном порядке слева направо.

Крумлауф и Дюбль обнаружили, что у мыши порядок расположения гомеозисных генов в кластере в точности соответствует относительному распределению их экспрессии в эмбрионе. Гомеозисные гены, находящиеся у левого конца комплекса, экспрессируются в задней части тела, а гены, занимающие правый конец, — ближе к голове. Много лет назад Льюис установил эту же закономерность у дрозофилы.

Все позвоночные имеют по четыре комплекса гомеозисных генов, находящиеся в разных хромосомах. Веро-

Consensus

RKRGRTTYTRYQTLELEKEFHFNRYLTRRRRIEIAHALCLTERQIKIWFONRRMKWKKEN

Labial

NNS---NF-NK-LT-----A-----NT-Q-N-T-V-----Q--RV

PGGL--NF-TR-LT-----K--S-A--V---AT-G-N-T-V-----Q--RE

Hox-2.9

Deformed

P--Q--A--H-I-----Y-----T-V-S-----D-

P--S--A--Q-V-----Y-----V-----S-----DH

Hox-2.6

Antp

-----Q-----

-----Q-----Y-----T-----

Hox-2.3

Abd-B

VRKK-KP-SKF-----L--A-VSKQK-W-L-RN-Q----V-----N--NS

SRKK-CP--K-----L--M---D--H-V-RL-N-S---V-----M--L-

Hox-2.5

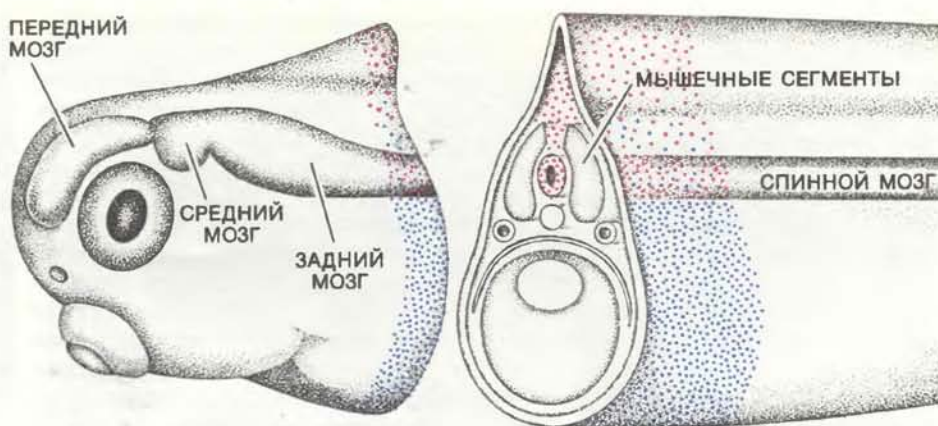
ГОМЕОДОМЕНЫ всех белков схожи, а в некоторых белках насекомых и млекопитающих они особенно близки. Здесь приведены аминокислотные последовательности нескольких гомеодоменов. Гены *Labial*, *Deformed*, *Antp* и *Abd-B* принадлежат дрозофиле, четыре аналогичных гена *Hox* — мыши. Аминокислоты обозначены буквами. Черточка означает, что в данном положении аминокислота та же, что и в последовательности *Consensus*, которая является обобщением последовательностей всех гомеодоменов.

ятно, в ходе эволюции эти комплексы возникли в результате дупликаций единственного кластера гомеозисных генов, какой свойствен беспозвоночным. Поэтому у человека есть, например, четыре гена, сходных с геном *Abdominal-B* дрозофилы, и четыре гена, подобных гену *Deformed*.

Во всех гомеозисных генных комплексах всегда слева располагаются гены, экспрессирующиеся в задней части тела, а справа — те, которые действуют в передней его части. Таким образом, гомеозисные гены организованы в хромосоме в том же порядке, в котором они экспрессируются вдоль передне-задней оси тела. Такое необычное расположение, возможно, связано с тем, что гомеозисные гены должны активироваться в определенном порядке.

Постепенно накапливаются данные о том, каким образом обеспечивается последовательное действие гомеозисных генов. У позвоночных вероятными кандидатами на роль таких позиционных регуляторов являются ретиновая кислота (это соединение, родственное витамину А, иногда вызывает тяжелые врожденные уродства) и белковые факторы роста. Возможно, они передают соответствующую информацию, избирательно активируя гомеозисные гены в мезодерме, играющей ключевую роль в становлении плана строения тела.

Бончинелли с сотрудниками добавляли ретиновую кислоту к культурам эмбриональных клеток и показали, что это вещество может активировать многие гомеозисные гены. Д. Мелтон из Гарвардского университета доказал, что фактор роста фибробластов (который индуцирует образование мезодермы у ранних эмбрионов) способен избирательно активировать гомеозисные гены, экспрессирующиеся в задней части эмбриона. В нашей лаборатории в Калифорнийском университете в Лос-Анджелесе К. Чо получил данные, свидетельствующие об избирательной активации генов, экспрессирующихся в



ГОМЕОЗИСНЫЕ ГЕНЫ экспрессируются в дискретных зонах, имеющих вид полос, вдоль передне-задней оси тела эмбриона. Например, у головастика *Xenopus laevis* ген *XINbox 1* экспрессируется в передней части туловища. Белок, который кодируется этим геном, обнаруживается в ядрах клеток мезодермы (синяя) и эктодермы (красная). Передняя конечность формируется исключительно из клеток мезодермы, в которых экспрессируется белок *XINbox 1*.

передней части эмбриона, под действием белка, похожего на трансформирующий фактор роста β .

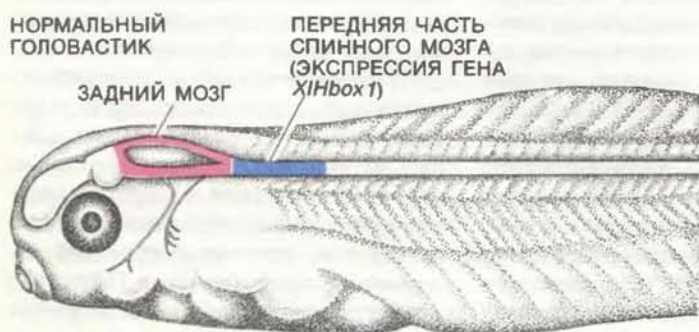
КАК ДЕЙСТВУЮТ активированные гомеозисные гены — определяют ли они природу и судьбу эмбриональных клеток, а тем самым форму тела и образование органов непосредственно или же их влияние осуществляется опосредованно? Результаты двух экспериментов указывают на то, что действие этих генов является непосредственным.

В первом эксперименте мы вводили в одноклеточные эмбрионы *Xenopus* антитела против белка *XINbox 1*. Антитела связывались с этим белком и инактивировали его как раз в то время, когда определяется план строения тела. У головастика, выросшего из таких эмбрионов, ткани, в которых обычно экспрессируется ген *XINbox 1* и которые входят в состав передней части спинного мозга, вместо этого оказались в заднем отделе головного мозга. Таким образом, «потеря функции» гена *XINbox 1* привела к тому, что часть спинного мозга преврати-

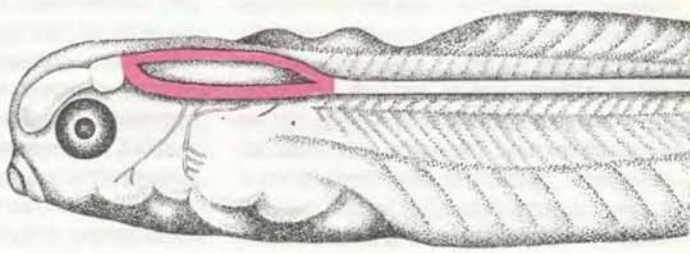
лась в структуру, расположенную ближе к переднему концу тела.

Во втором эксперименте, который провели Грюсс и М. Кессель из Института им. Макса Планка, в эмбрионы мыши вводили ДНК, содержащую мышинный гомеозисный ген. Вводимый фрагмент ДНК был специально сконструирован таким образом, что гомеозисный ген в его составе должен был экспрессироваться по всему телу даже в тех участках, где в норме этот ген не активен, например в области головы и шеи. У полученных в результате мышей часто возникали тяжелые дефекты головы, например «волчья пасть». Кроме того, у них имелись дополнительный позвонок и межпозвоночный диск у основания черепа, а иногда даже дополнительная пара ребер в шейном отделе позвоночника. В этом случае «приобретение функции» гомеозисного гена обусловило гомеозисные трансформации, подобные тем изменениям, которые наблюдаются при мутациях аналогичных генов у дрозофилы.

Другие факты также свидетельствуют о том, что гомеозисные гены



ГОЛОВАСТИК, КОТОРОМУ ВВЕЛИ АНТИТЕЛА ПРОТИВ БЕЛКА *XINbox 1*



ИНГИБИРОВАНИЕ активности гомеозисного белка может изменить судьбу эмбриональной ткани в развитии. В норме у головастика (слева) белок *XINbox 1* синтезируется в определенном участке передней части спинного мозга (си-

ний). Если в одноклеточный эмбрион ввести антитела против этого белка, то у выросшего головастика (справа) этот участок превращается в задний отдел головного мозга (красный).



ГРАДИЕНТЫ гомеозисных белков можно наблюдать в почках конечностей при помощи специальных красителей. В почке крыла куриного эмбриона (слева) концентрация белка Нох 5.2 наибольшая в ядрах клеток у заднего конца почки (правый край). В почке грудного плавника костистой рыбы *Brachydanio rerio* (справа) концентрация белка

XInbox 1 наибольшая у переднего конца почки (левый край). Грудной плавник рыб является эволюционным предшественником передней конечности четвероногих. Градиенты служат эффективным механизмом передачи позиционной информации.

играют роль в определении судьбы клеток. Как уже говорилось, на ранних стадиях развития гомеозисные гены интенсивно экспрессируются в полосах вдоль передне-задней оси тела. Позже, когда в таких зонах формируются органы, интенсивная экспрессия тех же гомеозисных генов возобновляется. На этих более поздних стадиях гомеозисные гены, по-видимому, создают своего рода молекулярные сигналы, «напоминая» клеткам, из какой части эмбриона они происходят.

Особенно информативный пример представляет развитие передней конечности. Все поле передней конечности происходит из полоски мезодермы, в которой экспрессируется ген *XInbox 1*. Клетки этой полоски пролиферируют и образуют маленькую почку передней конечности, которая появляется у *Xenopus* к 3-ей неделе после оплодотворения.

На этой стадии мезодерма почки передней конечности внешне гомогенна, однако в ней имеется градиент белка XInbox 1: его концентрация наибольшая в ядрах клеток, расположенных вдоль передней стороны почки конечности, из которой развивается большой палец, и наименьшая — в ядрах клеток вдоль задней стороны, из которой развивается самый маленький палец. По мере того как конечность растет и обретает форму, концентрация белка XInbox 1 поддерживается наибольшей в проксимальном конце конечности, т. е. в области плеча. А белок — продукт другого гомеозисного гена, *Нох 5.2*, образует противоположно направленный градиент: его концентрация наиболь-

шая на задней стороне и у дистального конца конечности.

Градиенты белков XInbox 1 и Нох 5.2 наблюдаются у эмбрионов лягушки, курицы и мыши. В развитии передней конечности участвуют и другие гомеозисные гены. Так, Дюбуль идентифицировал еще три гомеозисных гена, расположенных в хромосоме рядом с геном *Нох 5.2*, которые активируются последовательно по мере удлинения конечности. Порядок активации этих генов соответствует их расположению в ДНК.

Градиенты белков или других веществ вполне могут служить сигналами для определения положения клеток и направления их развития. Например, в почке конечности клетки образуют отдельные пальцы, возможно, по-разному реагируя на различные концентрации одного и того же белка. Такой механизм гораздо экономнее, чем если бы каждый палец определялся отдельным белком.

Итак, анализ градиентов гомеозисных белков показал, что тот же самый набор гомеозисных генов, который определяет продольную ось тела, позже задает положение клеток в ходе развития конечностей. Белки, содержащие гомеодомен, обнаруживаются в ядрах клеток, что и следовало ожидать для белков, связывающихся с ДНК, которые «включают» и «выключают» гены. Каким образом в почках конечностей устанавливаются градиенты ядерных белков, остается неясным. Возможно, в этом участвуют сигналы межклеточного взаимодействия, подобные тем, что используются при установлении продольной оси тела; их передача осуществляется

также, вероятно, при участии ретиновой кислоты или факторов роста.

ИЗУЧЕНИЕ гомеозисных генов не только позволило многое понять в эмбриональном развитии, но дало также основу важным идеям об эволюции. Поскольку организация гомеозисных генов у позвоночных и беспозвоночных сходна, первый комплекс генов, содержащих гомеобокс, должно быть, возник на очень ранних этапах эволюции — у плоских червей или других примитивных организмов, ставших общими предками как насекомых, так и человека. Интересно было бы выяснить, обладают ли комплексом гомеозисных генов колловратки — наиболее примитивные среди многоклеточных организмов, обладающих передне-задней полярированностью. Высокая степень консервативности этих комплексов в ходе эволюции позволяет предположить, что после того, как возник эффективный способ определения продольной оси тела, легче было модифицировать эту систему, а не искать совершенно новые пути формообразования.

Представления об активности гомеозисных генов предлагают также ключ к загадке о возникновении в ходе эволюции специализированных структур и органов. Например, долгое время оставалось предметом дискуссий происхождение передней конечности четвероногих. Поскольку примитивные двоякодышащие рыбы, считающиеся предками наземных позвоночных, имеют грудные плавники с костным скелетом, высказывалось предположение, что передняя конечность развилась из грудного плавника.

Это мнение было подтверждено в работе А. Молвена и Ч. Киммеля из Орегонского университета. Они показали, что у эмбрионов костистой рыбы *Brachydanio rerio* ген *XIhbox 1* экспрессируется сначала в боковом участке мезодермы округлой формы, который соответствует морфогенетическому полю грудного плавника. На этой стадии распределение экспрессии гомеозисного гена в точности совпадает с морфогенетическим полем, определенным в 1918 г. Харрисоном.

По мере того как клетки пролиферируют, в почке плавника создается крутой градиент белка *XIhbox 1*, как в почке передней конечности лягушки, курицы и мыши. Это позволяет предположить, что ген *XIhbox 1* очень древний и его функция в образовании соответствующего градиента в передней конечности возникла раньше, чем появились такие характерные для четверногих структуры, как пальцы. Такой пересмотр сравнительной эмбриологии позвоночных с позиций представлений об экспрессии генов, наверно, многое прояснит.

Хотя потребуется еще немало времени, чтобы разобраться, каким образом взаимодействуют гены в процессе превращения внешне гомогенной яйцеклетки, скажем, в плавающую головастика, молекулярный анализ развития позвоночных уже позволил сделать огромный скачок вперед. Экспрессия гомеозисных генов, возможно, позволит объяснить градиенты и поля, обнаруженные эмбриологами десятки лет назад. Гены, определяющие передне-заднюю полярность тела, оказались эволюционно намного консервативнее, чем можно было предположить. Удалось идентифицировать химические соединения, такие как ретиноевая кислота и факторы роста, которые могут участвовать в передаче позиционной информации. Появилась возможность экспериментально изучать, как в ходе эволюции изменялась форма тела. Пришедшие сейчас в лабораторию молодые ученые в один прекрасный день смогут ответить на «простой» вопрос: «Чем рука отличается от ноги?» Самое время начать работу!

из Колорадского университета в Боулдере, который называет их «межзвездным дымом». Если какая-нибудь из таких комет начинает приближаться к Солнцу, она может быть легко идентифицирована, поскольку будет лететь по гиперболической траектории, в отличие от комет из облака Оорта, которые движутся по параболам.

Пространственная плотность межзвездных комет должна отражать примерное количество звезд, имеющих планетные системы и «выбрасывающих» кометы в пространство. До сих пор, однако, еще не было зарегистрировано комет, которые двигались бы по гиперболической траектории. Штерн надеется, что многолетние специальные исследования слабых «гиперболических» комет помогут ответить на вопрос: являются ли планетные системы типичным явлением или «счастливой случайностью». П. Вейсман из Лаборатории реактивного движения считает, что такие специальные исследования не дадут никакого практического результата. Чтобы обнаружить гиперболическую комету, потребуется ждать 50—100 лет. Другой, более быстрый метод поиска межзвездных комет — непосредственно исследовать облака Оорта вокруг других звезд. Кометы, приближающиеся к своим звездам, будут испаряться и выделять пыль, которая должна излучать в инфракрасном диапазоне. Астрономическому спутнику «Инфрарэд» (*Infrared Astronomical Satellite*), принадлежавшему НАСА, не удалось зарегистрировать такое излучение. Космический телескоп «Спейс-инфрарэд» (*Space Infrared Telescope Facility*), который должен быть в недалеком будущем выведен в космос, будет обладать значительно большей чувствительностью.

Согласно публикации в журнале «Nature», группа Штерна предполагает, что красные звезды-гиганты в отдельных случаях могут быть достаточно яркими и разогревать свои облака Оорта до температуры видимости. В таком случае энергия звезд должна вызывать излучение молекул воды и гидроксильных радикалов. Это излучение можно выделить из спектра звезд, слишком горячих, чтобы излучать на этих длинах волн.

Астрономы очень увлечены идеей поиска комет в иных звездных системах. Задумчиво улыбаясь, Штерн говорит, что единственным другим путем получить ответ на вопрос, преобладают ли звезды с планетными системами в галактике — это «спросить об этом у инопланетян». Комментарии к таким заявлениям излишни.

Наука и общество

Кометы в межзвездном пространстве

ТЕ, КТО помнит, как пытались увидеть комету Когоутека в 1973 г. или разочаровавшую всех комету Остина два месяца назад, знают, что обнаружить даже яркую комету — очень непростая задача. Однако эти объекты продолжают привлекать внимание астрономов, поскольку представляют собой хорошо сохранившиеся образцы материала, из которого формировались Солнце и планеты, а распределение комет в пространстве может быть реликтом ранних дней существования Солнечной системы. Если бы было возможно наблюдать кометы, которые изначально вращаются вокруг ближайших звезд, астрономы смогли бы многое узнать о составе и динамике иных звездных систем.

Каждая из комет, наблюдавшихся до настоящего времени, обнаруживает себя лишь при приближении к Солнцу. Принято считать, что эти кометы прилетают из громадного разреженного кометного облака — облака Оорта, — размеры которого в 1000 — 100 000 раз превышают рас-

стояние от Земли до Солнца. Согласно имеющимся на сегодняшний день гипотезам, кометы формировались гораздо ближе к Солнцу, в зоне планет-гигантов (Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна). Мощные гравитационные поля этих планет «выбросили» ледяные кометные тела на более далекие орбиты. Из них, по-видимому, и сформировалось облако Оорта.

Если подобное действительно имело место, то, несомненно, есть кометы, существующие вне этого облака. Исследования динамики небесных объектов, проведенные несколькими группами, включая М. Дункана из Торонтского университета и его коллег, позволяют сделать вывод, что громадное большинство комет «оторвалось» от солнечного притяжения и «уплыло» в межзвездное пространство. Этот процесс продолжается и по сей день (правда, очень медленно). Только в нашей Солнечной системе могло образоваться около 100 триллионов комет. Если это типично для звездных систем, то в Млечном Пути содержатся сотни миллиардов комет на кубический световой год.

Эти межзвездные кометы буквально околдовали С. Штерна, астронома

Большой электрон-позитронный коллайдер

Большой электрон-позитронный коллайдер /LEP/ в этом году даст жизнь миллиону Z^0 -частиц. Огромный объем информации позволит физикам подвергнуть тщательной, как никогда ранее, проверке современные представления о физических законах микромира

СТИВЕН МАЙЕРС, ЭМИЛИО ПИКАССО

НЕВЗИРАЯ на праздник — а дело было во вторую половину дня 14 июля 1989 г., в 200-летнюю годовщину Великой французской революции — инженеры и физики столпились вокруг пульта управления в Европейской организации ядерных исследований (ЦЕРНе), которая находится во французском городке Превессене, рядом с швейцарской Женевой, но по другую сторону границы. Распространилось известие о том, что новый ускоритель — Большой электрон-позитронный коллайдер (Large Electron-Positron Collider, LEP) — готов принять первый пучок частиц, и люди собрались, чтобы быть свидетелями этого знаменательного события. Среди заинтересованных зрителей были генеральный директор ЦЕРНа К. Руббиа и его предшественник Х. Шоппер, который активно поддерживал проект LEP на раннем этапе разработки.

В 15 ч 55 мин первый сгусток электронов, впрыснутый в ускоритель, совершил оборот в его гигантском кольце. Каждая из сотен тысяч составных частей машины, имеющей окружность 26,7 км, работала безупречно.

Через месяц поздно вечером вокруг того же пульта, но уже при меньшем стечении сотрудников шла напряженная работа. Готовился запуск в ускоритель одновременно двух пучков, вращающихся в противоположных направлениях, — электронного и позитронного, чтобы наблюдать их первые столкновения. В 23 ч 55 мин электростатическое поле, разделяющее пучки, было выключено и в центральных точках четырех гигантских детекторов — Aleph, Delphi, L₃ и Opal — пучки столкнулись.

Прошло еще десять напряженных минут, и у пульта зазвонил телефон. Звонили с детектора Opal, чтобы сообщить о регистрации первой Z^0 -час-

тицы («зет-нуль»), рожденной в LEP. Пока к пульта несли фотографию, где было запечатлено это столь долгожданное событие, раздался другой звонок с сообщением об обнаружении еще пяти зет-нулей. Среди общего возбуждения Руббиа, который в 1984 г. разделил Нобелевскую премию по физике за свой вклад в открытие Z^0 -частиц, заметил, что тогда он ехал в Стокгольм как раз по поводу пяти событий.

За четыре последующих месяца на детекторах LEP наблюдалось более 100 тыс. событий с рождением Z^0 . Эти наблюдения уже дали важный результат: они свидетельствуют, что, возможно, существует только 12 элементарных частиц, сгруппированных в три «поколения» (см.: рубрику «Наука и общество», «В мире науки», 1990, № 2). В общей сложности опубликовано около 30 научных статей, основанных на событиях с Z^0 , зафиксированных в прошлом году.

Ожидают, что в этом году на ускорителе LEP будет произведено около миллиона Z^0 -частиц. Такой огромный объем информации позволит физикам исследовать редкие моды распада, определить массу и время жизни Z^0 с высокой точностью, изучить процессы образования адронов (частиц, состоящих из кварков) и, таким образом, сравнить с экспериментом различные предсказания современной теории. Не менее важно, что экспериментаторы попытаются открыть на LEP новые состояния вещества — в частности, бозон Хиггса и, возможно, t -кварк. Существование обеих этих массивных частиц предсказывается теорией, но они пока еще не были обнаружены. Разумеется, экспериментаторы будут искать также явления, не укладывающиеся в рамки существующих теорий.

В течение следующего десятилетия коллайдер LEP должен стать основ-

ной экспериментальной установкой для исследований в области физики элементарных частиц. Его успешная работа в настоящее время увенчала многолетний напряженный труд сотен техников, инженеров и ученых более чем из 25 стран, которые сотрудничали при создании LEP и его детекторов.

ССАМОЛЕТА ускоритель LEP виден как большой округлый восьмиугольник, оседлавший франко-швейцарскую границу. Накопительное кольцо состоит из восьми прямолинейных секций, длиной 500 м каждая, соединенных восемью дугами длиной по 2,8 км. Компоненты ускорителя размещены в подземном туннеле шириной около 4 м в среднем на глубине 100 м.

Имея средний диаметр 8486 м и энергию пучка 100 гигаэлектронвольт (1ГэВ = 10^{11} эВ), LEP представляет собой самое большое и мощное из всех когда-либо построенных электрон-позитронных накопительных колец. С завершением его строительства история, начало которой было положено 30 лет назад — в марте 1960 г., когда Бруно Тушек на семинаре в Итальянской национальной лаборатории во Фраскати обосновал важность изучения столкновений электронов с античастицами,

БОЛЬШОЕ ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННОЕ накопительное кольцо с окружностью 26,7 км расположено в подземном туннеле на глубине 100 м (рисунок дан не в масштабе). Вращающиеся в противоположных направлениях сгустки электронов и позитронов сталкиваются при энергиях порядка 100 млрд эВ. Внизу показаны слева направо: магниты, фокусирующие пучки, рельсовая система внутри туннеля и ряд радиочастотных полостей, питающих пучки частиц энергией.

позитронами, — достигла кульминации. Тушек предложил построить ускоритель, в котором пучки электронов и позитронов с одинаковой энергией будут направляться магнитами в противоположных направлениях по круговому пути и затем сталкиваться «лоб в лоб». Изучение разлетающихся осколков, рожденных в таких столкновениях, дало бы незаменимую информацию о фундаментальных законах природы.

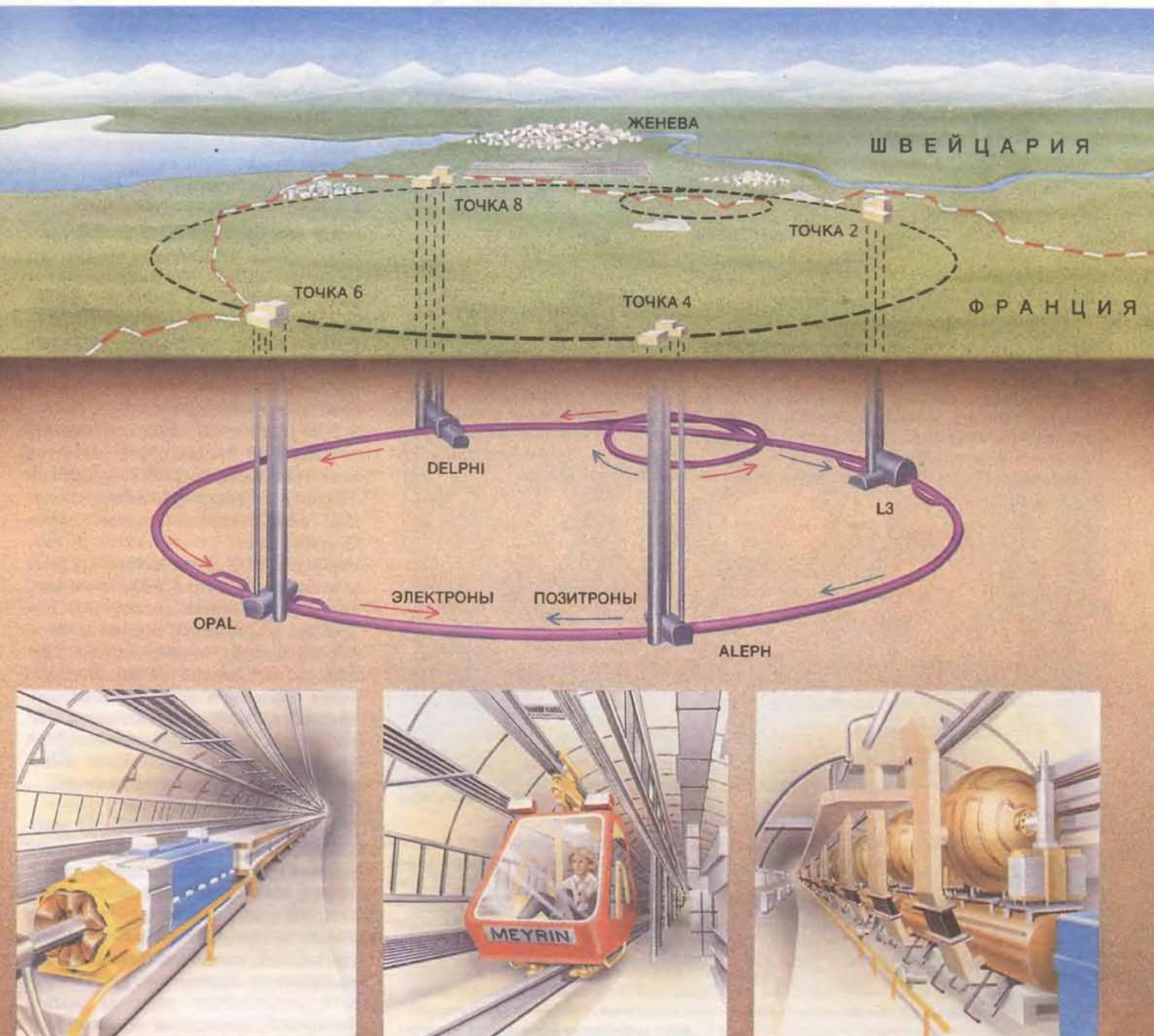
Первое электрон-позитронное накопительное кольцо было построено во Фраскати и получило название ADA (*anello di accumulazione*, т. е. просто накопительное кольцо). Диаметр ADA составлял всего 1,6 м, а максимальная энергия пучка — 250 млн. электронвольт (МэВ). После этой первой установки в СССР, Фран-

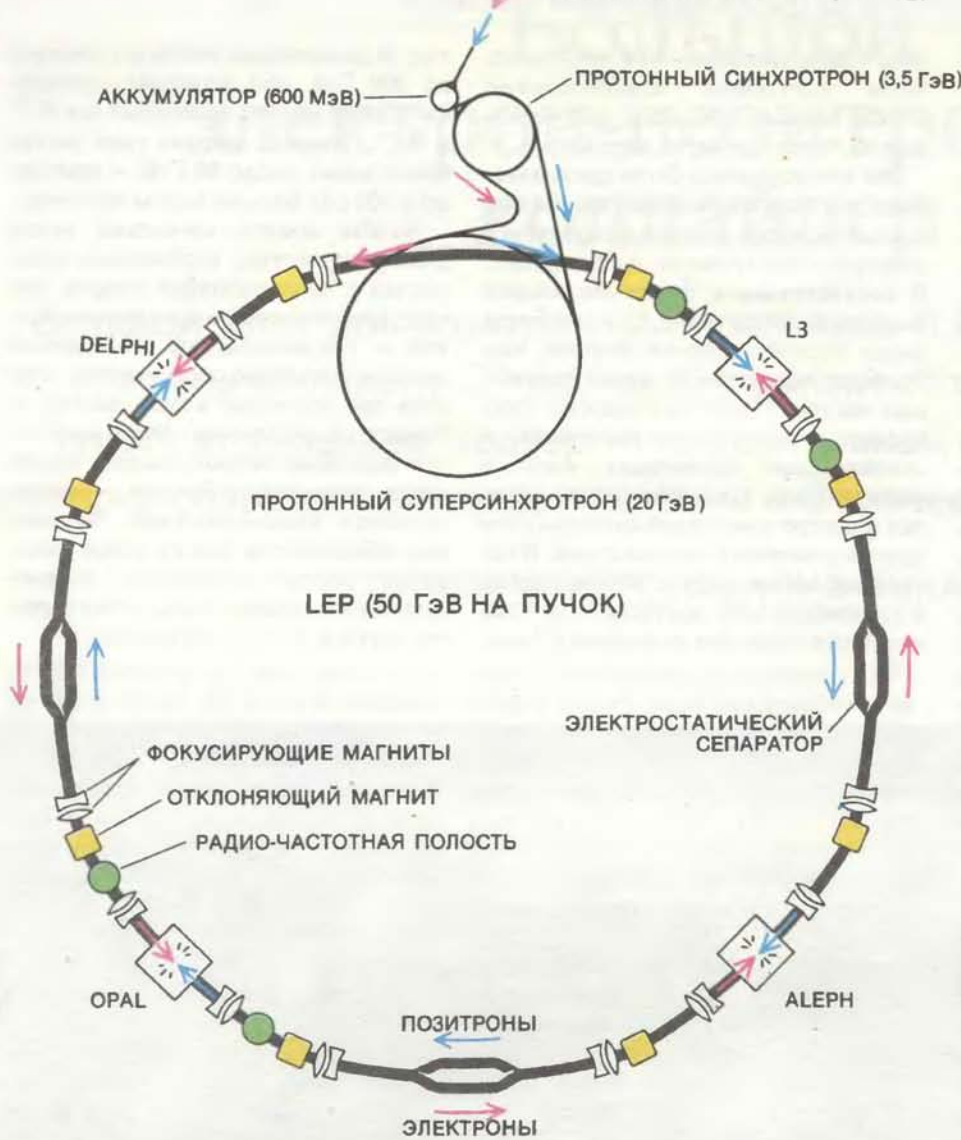
ции, США, Италии, ФРГ и Японии были построены накопительные кольца большего размера, рассчитанные на более высокую энергию.

Все эти установки были предназначены для получения новых частиц при высвобождении энергии в результате электрон-позитронной аннигиляции. В соответствии с фундаментальной формулой Эйнштейна $E = mc^2$ чем выше высвобождается энергия, тем большей может быть масса рожденных частиц. Поскольку энергия электронов и позитронов одинакова, а столкновение происходит «лоб в лоб», полная высвобожденная энергия в центре масс такой системы есть просто удвоенная энергия пучка. В настоящее время энергия столкновения в ускорителе LEP достигает 110 ГэВ, что достаточно для рождения Z^0 -час-

тиц. В дальнейшем она будет поднята до 200 ГэВ, что позволит производить пары частиц, известных как W^+ и W^- . Каждая из этих трех частиц имеет массу около 90 ГэВ — примерно в 100 раз больше массы протона.

Чтобы понять насколько важна роль этих частиц, необходимо обратиться к существующей теории элементарных частиц и их взаимодействий — так называемой стандартной модели. Согласно этой теории, имеются два основных класса частиц — бозоны и фермионы. Фермионы — это основные «строительные кирпичики» вещества, а бозоны — «переносчики» взаимодействий. Фермионы, обмениваясь между собой бозонами, соответствующими взаимодействиям разного типа, могут притягиваться или отталкиваться.





ВИД С ВЫСОТЫ ПТИЧЬЕГО ПОЛЕТА на накопительное кольцо показывает, как на установках меньшего размера электронные и позитронные сгустки ускоряются перед введением в LEP. Четыре электронных и четыре позитронных сгустка вращаются в противоположных направлениях и сталкиваются в четырех гигантских детекторах: ALEPH, DELPHI, L3 и OPAL. Пути сгустков скрещиваются также в четырех промежуточных точках, где столкновения, однако, не происходят благодаря системе электростатических сепараторов.

	МАССА Z^0 (ГэВ)	ШИРИНА Z^0 (ГэВ)	ЧИСЛО ТИПОВ НЕЙТРИНО	t -КВАРК	НИЖНИЕ ПРЕДЕЛЫ НА МАССУ (ГэВ)*			
					ХИГГСОВСКИЙ БОЗОН	СЕЛЕКТРОН	ДАБЛ-ЮИНО	
ALEPH	$91,182 \pm 0,056$	$2,541 \pm 0,056$	$3,01 \pm 0,20$	45,8	24,0	44,2	46,0	
DELPHI	$91,171 \pm 0,060$	$2,511 \pm 0,065$	$2,97 \pm 0,26$	44,0	14,0	42,0	45,0	
L3	$91,160 \pm 0,054$	$2,539 \pm 0,054$	$3,29 \pm 0,17$	СМ. ПОДПИСЬ		41,0	44,0	
OPAL	$91,154 \pm 0,051$	$2,536 \pm 0,045$	$3,09 \pm 0,25 - 0,31$	44,5	25,0	43,4	45,0	

* 95%-НЫЙ УРОВЕНЬ ДОСТОВЕРНОСТИ

ПОСЛЕДНИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, полученные на детекторах LEP. Данные по массе и «ширине» частиц Z^0 свидетельствуют только о наличии трех легких нейтрино. Данные группы L3 по нижним пределам на массу t -кварка и бозона Хиггса пока отсутствуют. (Для t -кварка они несколько ниже пределов, полученных на протон-антипротонных коллайдерах, но меньше зависят от теоретических моделей, описывающих распад t -кварка.) Полученные на LEP данные исключают и существование селектрона и дабл-юино (суперсимметричных партнеров электрона и бозона W) с массами ниже 44 ГэВ.

Существует два вида фермионов — лептоны и кварки. К лептонам относятся такие заряженные частицы, как электроны и мюоны, а также нейтральные, практически безмассовые частицы, называемые нейтрино. Кварки — это составляющие адронов, таких как широко известные протоны и нейтроны.

Фермионы сгруппированы в поколения, каждое из которых включает два кварка и два лептона. К первому поколению относятся верхний (u) и нижний (d) кварки (из них состоят протоны и нейтроны), электрон и электронное нейтрино. Второе поколение содержит странный (s) и очарованный (c) кварки, мюон и мюонное нейтрино. Третье поколение состоит из нижнего (b) кварка, до сих пор не наблюдаемого верхнего (t) кварка, заряженного тау-лептона и тау-нейтрино.

Согласно стандартной модели, в природе существуют четыре фундаментальных взаимодействия, в роли «переносчиков» которых выступают различные бозоны. Электромагнитное взаимодействие переносится фотонами (квантами света). Сильное взаимодействие, которое удерживает протоны и нейтроны в атомных ядрах, переносится глюонами. Гравитация переносится соответственно гравитонами. Одним из достижений стандартной модели является объединение (единое описание) электромагнитного взаимодействия и слабого взаимодействия, ответственного за радиоактивный распад. В такой объединенной модели предсказывается существование промежуточных векторных бозонов: Z^0 , W^+ и W^- , которые должны быть переносчиками слабого взаимодействия.

Триумфальным подтверждением стандартной модели стало открытие этих трех частиц в 1983 г. в ЦЕРНе. Теория дает также точные предсказания о процессах, в которых рождаются эти частицы, и о том, как их регистрировать. Несмотря на достигнутые успехи, стандартная модель не удовлетворяет ученых полностью. Например, до сих пор из первых принципов неизвестно, почему у элементарных частиц именно те массы, которые у них есть, а не другие. Дальнейшие эксперименты на ускорителе LEP расширяют область предсказаний этой теории, которые можно будет проверить с беспрецедентной точностью.

ВОЗМОЖНОСТЬ получать на ускорителе LEP множество Z^0 -частиц привела уже к крупному достижению: теперь можно с уверенностью сказать, что имеется только три типа легких нейтрино. Согласно стандартной модели, каждое поколение частиц содержит по одному нейтрино. Одна-

ко теория не может предсказать, сколько существует поколений, поэтому определить это можно только экспериментально путем подсчета числа типов нейтрино.

Нейтрино — электрически нейтральные, почти безмассовые частицы, очень слабо взаимодействующие с веществом; постоянно потоки космических нейтрино беспрепятственно проходят сквозь Землю. Поэтому прямое наблюдение нейтрино затруднительно. Эксперименты на коллайдере LEP позволили провести косвенный подсчет типов нейтрино без регистрации этих неуловимых частиц. Это удалось сделать, точно измерив «ширину» Z^0 -резонанса.

Что такое Z^0 -резонанс и какое отношение его ширина имеет к числу типов нейтрино? Термин «резонанс» описывает в данном случае тот факт, что на коллайдере LEP по мере постепенного увеличения энергии столкновения в области 91 ГэВ число рождающихся Z^0 -бозонов возрастает. Скорость рождения частиц достигает пика, или «резонирует», примерно при 91,2 ГэВ и затем падает по мере дальнейшего увеличения энергии. График зависимости числа рожденных Z^0 -частиц в единицу времени от энергии пучка представляет собой колоколообразную кривую.

Ширина этой кривой дает критическую информацию о числе возможных элементарных частиц. Почему это так? Ширина — это мера неопределенности энергии, которая, согласно принципу неопределенности, обратно пропорциональна времени: чем шире кривая, тем короче время жизни частицы. Время жизни в свою очередь служит индикатором числа различных мод распада, доступных для Z^0 -частицы; чем больше число типов частиц, на которые может распадаться Z^0 -частица, тем короче ее время жизни и тем шире соответствующая резонансная кривая.

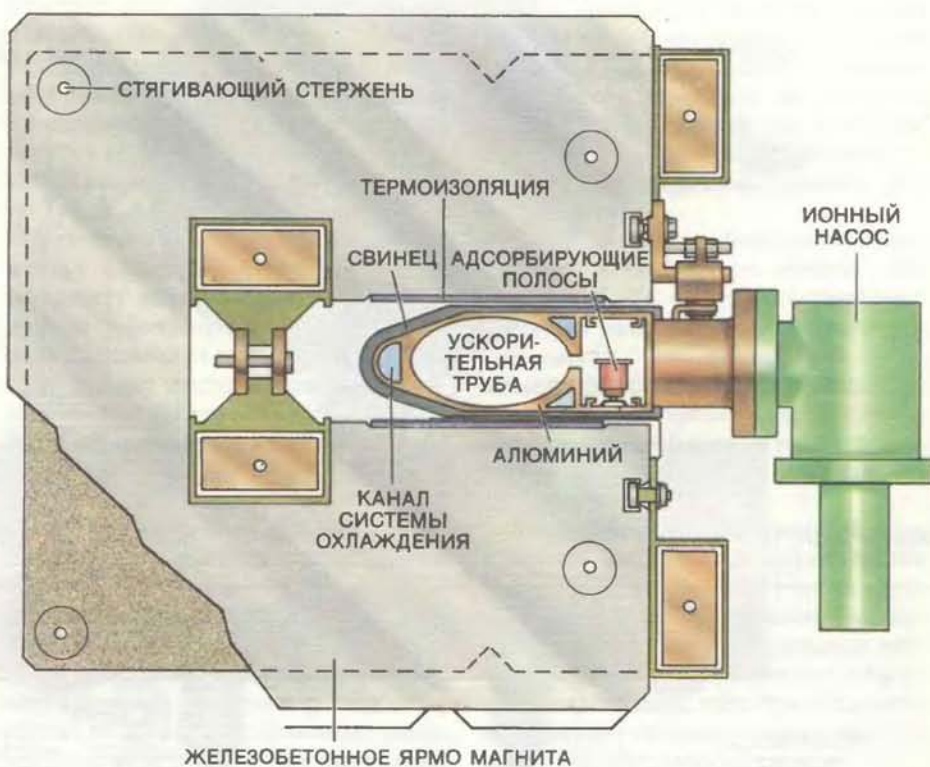
Измерения ширины Z^0 -резонанса на четырех детекторах LEP показывают, что существует только три типа легких нейтрино. Четвертое легкое нейтрино определенно исключается. В будущем теория должна будет дать объяснение этому факту. (Данные по Z^0 -резонансу не могут дать информации о существовании тяжелых нейтрино с массой более половины массы Z^0 . Такие нейтрино должны быть в миллиарды раз тяжелее известных.) Из этого вывода следуют важные следствия для астрофизики и космологии. Например, сегодня исключена возможность того, что четвертое нейтрино с массой до 10 ГэВ обеспечивает существование «скрытой массы», которая необходима, чтобы остановить расширение Вселенной.

Исследователи из группы LEP предпринимают сейчас усилия, чтобы сложить и другие части головоломки стандартной модели. Ведется поиск двух других частиц, предсказанных теорией: t -кварка и бозона Хиггса (который нейтрален, но, возможно, существуют и заряженные его разновидности). Основываясь на экспериментальных данных по физике элементарных частиц из лабораторий всего мира, а также на точной массе Z^0 , теоретики предсказывают, что масса t -кварка должна быть в области 139 ГэВ с неопределенностью ± 30 ГэВ. До сих пор эксперименты на коллайдере LEP исключали возможность существования t -кварка с массой менее 45 ГэВ и нейтрального бозона Хиггса с массой менее 25 ГэВ. Если эти частицы не будут обнаружены и в дальнейшем, когда энергия LEP будет увеличена, это может означать или что масса этих частиц слишком велика, или что стандартная модель неверна.

ЧТОБЫ коллайдер LEP мог выполнять научные задачи, которые на него возлагались, проектировщики должны были учитывать и взвешивать различные факторы. Самым

критическим фактором, определяющим размер накопительного кольца LEP, является так называемое синхротронное излучение. Любая заряженная частица, направляемая магнитами по круговому пути, излучает электромагнитные волны и теряет энергию. Если эта потеря не восстанавливается, частица быстро теряет скорость и врезается в стенки ускорителя. При энергии пучка 55 ГэВ частица в кольце LEP излучает энергию примерно 200 МэВ за один оборот, и для восполнения этой потери требуется ряд радиочастотных (РЧ) полостных генераторов с частотой 350 МГц и общей мощностью 16 МВт. В будущем, когда энергия пучка LEP достигнет 100 ГэВ, частицы будут терять энергию более 2800 МэВ за один оборот.

Таким образом, стоимость эксплуатации электрон-позитронного накопительного кольца в значительной степени определяется затратами на восполнение энергетических потерь на синхротронное излучение. Для частицы, двигающейся по круговой орбите, эти потери пропорциональны четвертой степени ее энергии, деленной на радиус орбиты. Очевидно, что для данной энергии пучка потери



ТРУБА УСКОРИТЕЛЯ, отклоняющие магниты и система вакуумных насосов (показано в разрезе). Пучки частиц движутся по оси трубы. Алюминиевые стенки обшиты свинцом, чтобы предотвратить выход синхротронного излучения наружу и образование коррозионных газов. Труба окружена большим отклоняющим магнитом. Поскольку магнитное поле может быть достаточно низким, выбрана дешевая конструкция магнита, где слои железа перемежаются цементными прокладками. Чтобы достичь высокого вакуума (примерно 10^{-11} мм рт. ст.), используются специальные металлические ленты, на которых оседают «блуждающие» по камере молекулы газа.

можно снизить, увеличивая радиус орбиты. Ясно так же, что чем больше кольцо, тем дороже его строительство. Существует некоторый оптимальный размер кольца, при котором суммарная стоимость его строительства, а также стоимость строительства и эксплуатации системы РЧ-полостей оказываются минимальными.

Синхротронное излучение наносит ущерб, так как увеличивает стоимость установки, но оно дает и положительный эффект. Это излучение «гасит» осцилляции индивидуальных частиц в пучке. Энергия новых частиц, вводимых в пучок, осциллирует вокруг средней энергии пучка, и чем больше амплитуда осцилляций, тем быстрее они гасятся за счет эффекта радиационного затухания. Таким образом, радиационное затухание позволяет непрерывно добавлять в пучок все новые и новые порции частиц и значительно увеличивать его интенсивность.

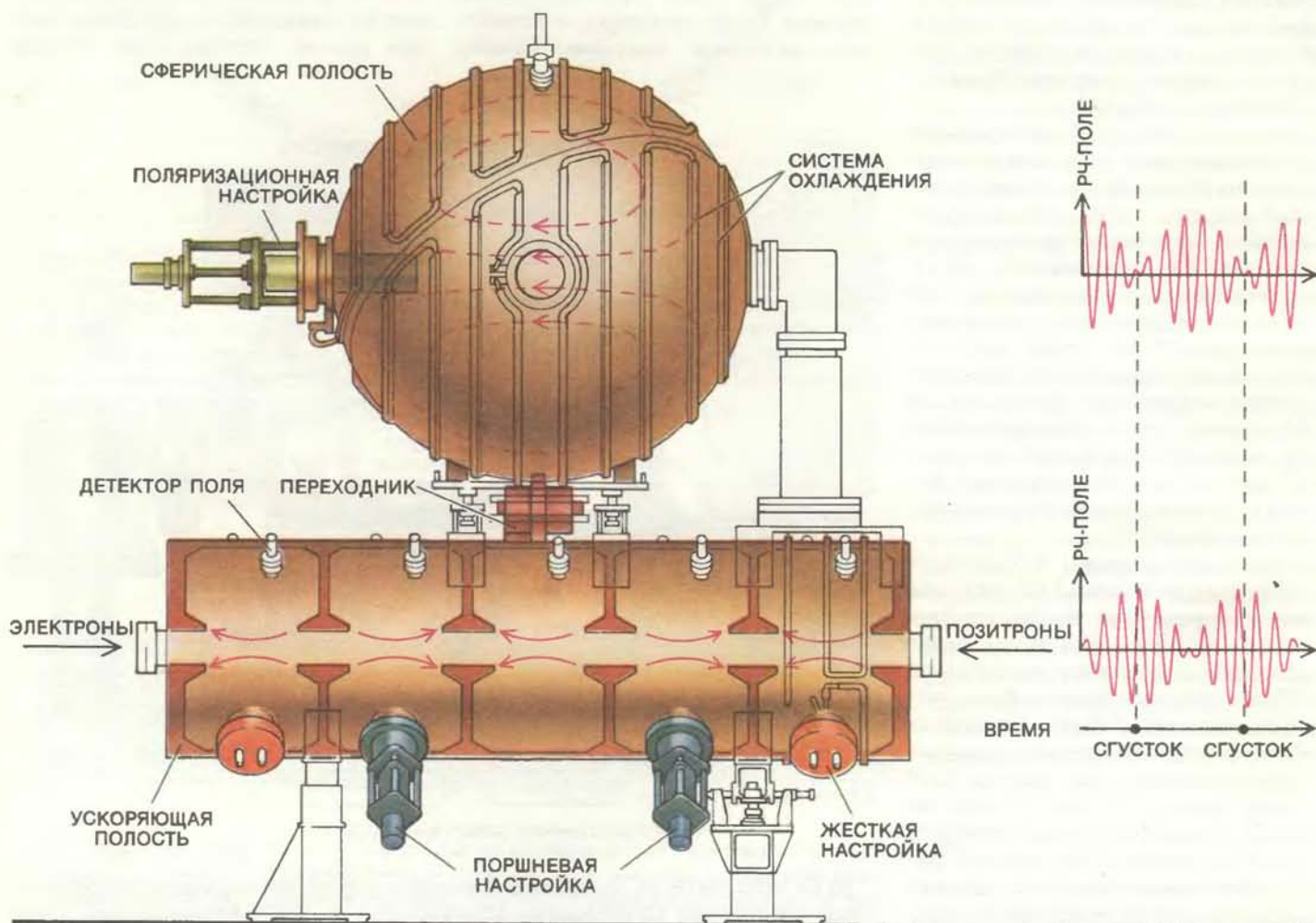
Затухание, которое само по себе свело бы амплитуду осцилляций до

нуля, противоборствует с эффектами диффузии (расплывания пучка), которые увеличивают амплитуду осцилляций. Таким образом, пучок достигает равновесного состояния, в котором эти две противоположные тенденции сбалансированы. Здесь можно провести аналогию с воздушным шариком. Давление воздуха внутри шарика можно сравнить с силой диффузии, а эластичность резиновой оболочки — с радиационным затуханием. Когда давление возрастает, шар раздувается. Однако если при том же давлении уменьшить каким-то образом эластичность оболочки, то шарик уменьшится в размере.

Состояние равновесия замечательно тем, что в нем пучки частиц практически не реагируют на малые возмущения, такие, как быстрые флуктуации управляющего магнитного поля (так же как деформированная оболочка воздушного шарика быстро возвращается к своему первоначальному состоянию). При энергиях, достижимых на коллайдере LEP, эти условия осуществляются только для электро-

нов и позитронов, но не для протонов (когда синхротронное излучение слабое). Для физиков, работающих на ускорителях, в этом состоит принципиальное различие между электронными и протонными накопительными кольцами. Протоны бесконечно долго сохраняют «память» о любом возмущении, в то время как электроны «забывают» о возмущениях за сотые доли секунды.

РАЗРАБОТЧИКИ LEP должны были создать машину с требуемой энергией и светимостью (интенсивностью пучка), но сбалансировать эти требования с финансовыми расходами на строительство и эксплуатационными расходами, а также обеспечить достаточную гибкость установки для дальнейшей реконструкции. В начале 1976 г. специалисты из ЦЕРНа представили проект кольца длиной 50 км. Это оптимальный размер для машины с максимальной энергией пучка 100 ГэВ при условии использования обычных ускоряющих систем. За этим последовал другой



РАДИОЧАСТОТНАЯ (РЧ) ПОЛОСТЬ создает осциллирующее электрическое поле (красные стрелки), ускоряющее сгустки частиц. Чтобы уменьшить тепловые потери в металлических стенках полости, РЧ-поле, когда оно не должно работать на ускорение сгустков, переключается на прилегаю-

щую сферическую полость с малой диссипацией. Тепловые потери в сферической полости меньше. На графиках показана пространственная зависимость напряженности поля относительно положения сгустков.

проект, в котором кольцо было меньше и имело окружность всего 22 км с энергией пучка 70 ГэВ, которая при использовании магнитов со сверхпроводящими обмотками могла бы быть поднята до 100 ГэВ.

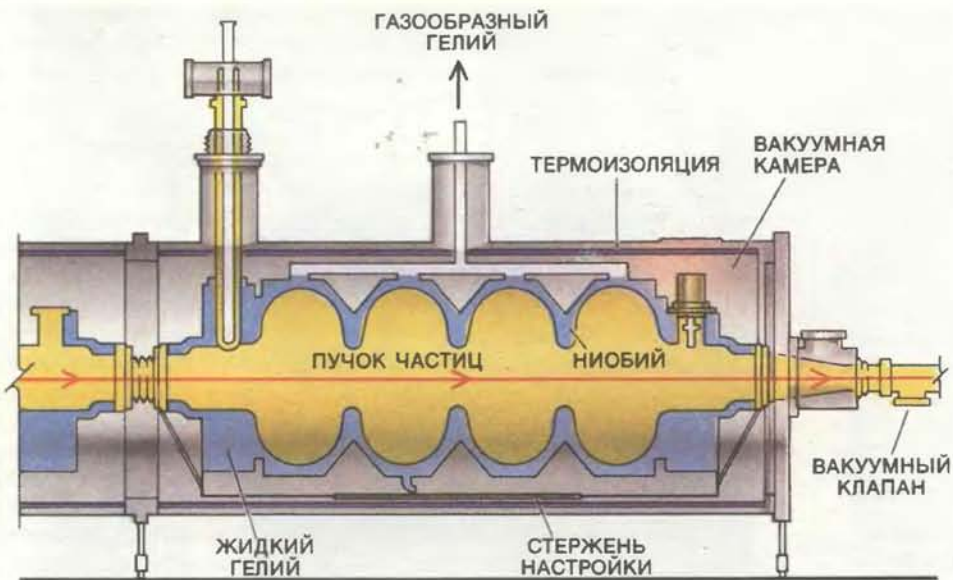
К середине 1979 г. проектировщики пришли, однако, к выводу, что предпочтительна несколько большая длина кольца — 26,7 км. В этом случае возможно в принципе поднять энергию ускорения до величины, необходимой для рождения пар частиц W^+/W^- с использованием обычных магнитов, работающих при комнатной температуре (тогда проект не будет зависеть от развития сверхпроводниковой технологии).

В декабре 1981 г. совет ЦЕРНа одобрил этот проект. Сначала коллайдер должен был работать при максимальной энергии в системе центра масс в 110 ГэВ (стадия I); в дальнейшем планировалось его усовершенствование с тем, чтобы достичь энергии 200 ГэВ (стадия II), с принципиальной возможностью дальнейшего увеличения энергии примерно до 240 ГэВ. На стадии II ученые смогут изучать взаимодействие между частицами Z^0 , W^+ и W^- , что очень важно для проверки достоверности теории электрослабого взаимодействия.

Строительные работы начались вскоре после того, как окончательный проект был одобрен. С 1983 по 1988 г. LEP был крупнейшей инженерно-технической строительной площадкой в Европе. На инженерные работы и создание соответствующей инфраструктуры было потрачено более половины бюджета строительства. Наиболее впечатляющей частью проекта можно считать основную кольцевую туннель хотя из него было вынута менее половины земли и скальных пород от общего объема 1,4 млн м³. Остальные земляные работы включали создание 4 гигантских каверн для размещения детекторов, 18 шахт и около 60 залов, камер и ниш.

Три туннельных проходческих комбайна пробивали себе путь сквозь скалы со скоростью 25 м в день, отклоняясь при этом от заданной траектории не более чем на 1 см. Компоненты ускорителя внутри туннеля были выстроены с точностью до 0,1 мм. Такая высокая точность была достигнута с помощью системы лазерных интерферометров, размещенных на холмах, окружающих место строительства.

ЧТОБЫ сэкономить время и деньги, проектировщики решили использовать уже существующие ускорители меньшего размера для системы инъекции, которая разгоняет пуч-



СВЕРХПРОВОДЯЩАЯ РЧ-ПОЛОСТЬ позволяет поднять энергию LEP до 100 ГэВ на пучок. Стенки из охлаждаемого жидким гелием сверхпроводящего ниобия сводят тепловые потери к нулю. Все острые выступы сглажены, чтобы поле нигде не имело большого градиента. Иначе бы в этих участках скапливались электроны, которые нагрели бы ниобий выше температуры сверхпроводящего перехода.

ки частиц до довольно значительной энергии перед тем, как ввести их в кольцо LEP. Два линейных ускорителя последовательно придают им начальную энергию 200 МэВ и затем 600 МэВ; 600-МэВ-ное накопительное кольцо аккумулирует сгустки частиц. Затем они вводятся в протонный синхротрон в ЦЕРНе, который доводит их энергию до 3,5 ГэВ. После этого сгустки инжектируются в протонный суперсинхротрон, разгоняющий их до 20 ГэВ, и, наконец, вводятся в LEP.

Как только частицы оказываются внутри кольца LEP, их необходимо направить вдоль нужной траектории и затем сфокусировать в запланированных местах столкновений. Эту задачу решает система электромагнитов и электростатических пластин. Каждая из восьми дуг, составляющих более 3/4 окружности LEP, состоит из 31 стандартного модуля. Длина каждого модуля 79,11 м. Он включает магниты разного типа и назначения в следующем порядке: вертикальный фокусирующий квадруполь (четырёхполюсный магнит, который сжимает пучок в вертикальном направлении), вертикальный корректор орбиты, группу из шести отклоняющих диполей, горизонтальный фокусирующий секступоль, горизонтальный фокусирующий квадруполь, горизонтальный корректор орбиты, вторую группу из шести отклоняющих диполей и, наконец, вертикальный фокусирующий секступоль.

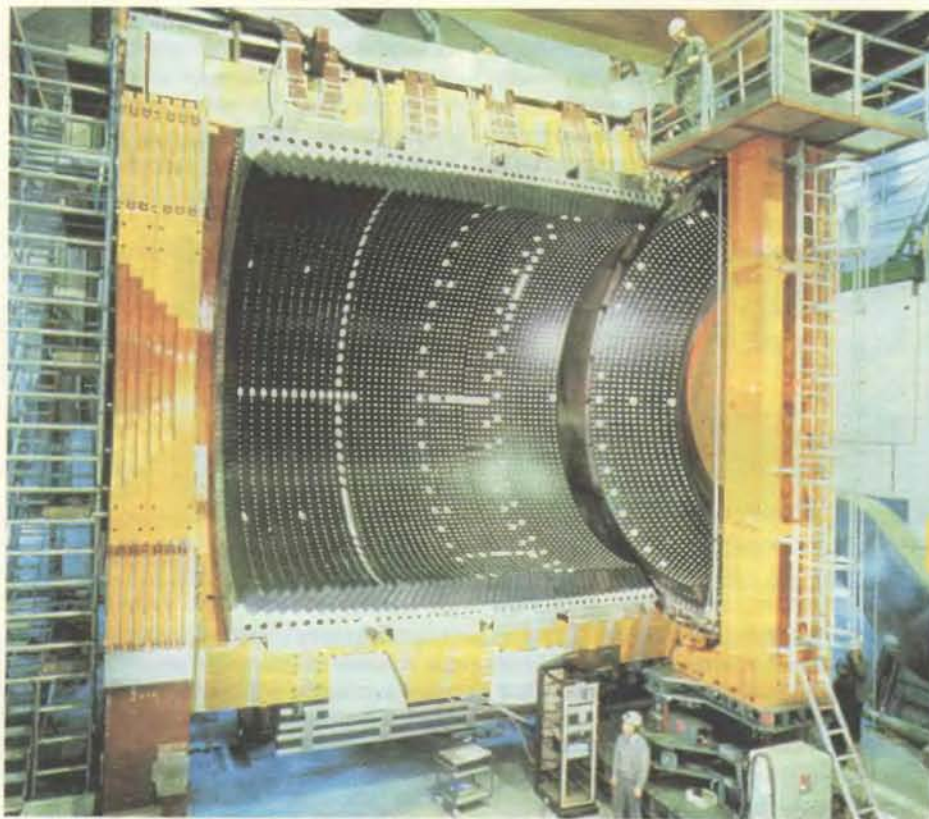
Отклоняющие дипольные магниты направляют электроны и позитроны вдоль дуги. Радиус кривизны велик,

чтобы уменьшить синхротронное излучение, поэтому магнитное поле в этих диполях необычно мало — всего около 0,1 Тл. Слабое поле позволило сделать сердечники этих магнитов по новой схеме: промежутки между стальными магнитными пластинами заполнены известковым раствором, — как кремовые прослойки в торте «Наполеон». Такая конструкция оказалась на 40% дешевле стандартного сплошного стального сердечника.

В центре каждого участка, где происходит столкновение пучков, они должны быть сжаты до возможно меньших размеров, чтобы увеличить светимость. Это достигается с помощью ряда сверхпроводящих квадрупольных магнитов. Они фокусируют диаметр пучка до 10 мкм в вертикальной плоскости и до 200 мкм — в горизонтальной.

Громадный сверхпроводящий соленоидный магнит окружает участок столкновения и создает в детекторах однородное магнитное поле. Это поле искривляет пути заряженных частиц, родившихся в результате столкновения, и таким образом позволяет экспериментаторам определить их массу и электрический заряд.

Все магниты точно отрегулированы, так что интенсивность тока, текущего в их обмотках, строго определена. Для этой цели имеется более 750 источников постоянного тока, мощность которых находится в пределах от 1 кВт до 7 МВт. Точность, с которой выверена мощность этих источников, составляет 0,002%. Они



ИСКРИВЛЕННАЯ СТЕНА детектора Opal, сделанная из свинцового стекла и железа, имеет высоту 10 м и примерно такую же длину. Свинцовое стекло поглощает электроны и гамма-лучи, а толстые, окрашенные желтым цветом железные плиты измеряют долю энергии, уносимую адронами. Эта конструкция соединяется с другой, точно такой же, и окружает большой соленоидальный магнит и газовые ионизационные камеры, регистрирующие треки заряженных частиц.

строغو синхронизированы на критической стадии, когда энергия пучков «доползает» до максимальной.

В кольце LEP одновременно циркулируют в противоположных направлениях четыре симметрично расположенных электронных и четыре таких же позитронных сгустка. Пути электронных и позитронных пучков скрещиваются в центре каждого экспериментального детектора, а также в четырех промежуточных точках. Однако в процессе инжекции, аккумуляции и собственно ускорения вращающиеся в противоположных направлениях пучки не должны подходить близко друг к другу, поскольку электромагнитные поля, создаваемые каждым таким сгустком, в этом случае соьют с пути своего «оппонента» и в результате оба сгустка врежуются в стенки ускорительной камеры. Этот эффект взаимодействия пучков можно преодолеть, если подвергнуть пучки постоянному воздействию электростатического поля, которое работает как невидимая дорожная разделительная полоса, не позволяющая пучкам войти в контакт во всех восьми возможных точках столкновения. За мгновение до того, как все готово к сбору экспериментальных данных, снимается напряжение с электростатичес-

ких пластин в экспериментальных точках столкновения и становится возможным столкновение пучков. (Сепараторы можно использовать также для коррекции траектории пучков перед столкновением.)

КАК отмечалось выше, электроны и позитроны, вращающиеся в накопительном кольце, непрерывно теряют энергию в форме синхронного излучения. Задачу снабжения пучков энергией решают радиочастотные резонансные полости (РЧ-система).

Существующая РЧ-система ускорения состоит из 128 полостей по пять ячеек каждая. Источником энергии служат 16 мегаваттных клистронов. Клистроны генерируют интенсивное радиочастотное поле, которое подается на полости. Ускорение частиц осуществляет электрическая компонента поля. Поле осциллирует как раз с такой частотой, чтобы в те короткие мгновения, когда сгусток частиц проходит через полость, он получал от поля дополнительный ускоряющий импульс. Такой сгусток напоминает спортсмена-виндсёрфера, скользящего на гребне несущей его прибойной волны.

Главная техническая проблема в

РЧ-системе состоит в том, что ускоряющие электрические поля нагревают стенки медной полости и значительная доля поступающей мощности превращается в тепло. Чтобы уменьшить эти потери, инженеры поставили при каждой ускоряющей полости дополнительную сферическую полость, так что мощность РЧ-поля все время «перекачивается» из одной полости в другую. Сферическая полость устроена так, что диссипация энергии в ней намного меньше, чем в ускоряющей полости. В то время когда сгусток частиц проходит через ускоряющую полость, почти вся мощность РЧ-поля сосредоточена в ней. Половину времени, однако, максимум мощности приходится на сферическую полость. Таким образом, сгустки получают максимальное ускорение, а тепловые потери существенно уменьшаются, так как РЧ-поле половину времени действует во вспомогательных полостях с малой диссипацией.

РЧ-система ускорения выполняет также важную задачу концентрации частиц в плотные сгустки. Она работает при частоте 352,21 МГц, т. е. вдоль окружности LEP укладывается ровно 31 320 периодов колебаний РЧ-поля. Каждый такой период содержит область, где колебания частиц вокруг центра сгустка устойчивы. Эта область стабильности называется РЧ-нишей. Система РЧ-ниш фокусирует частицы в отдельные сгустки длиной 1—2 см, в которых энергия всех частиц совпадает с точностью 0,1%.

Поскольку кольцо LEP включает 31 320 периодов колебаний, имеется 31 320 РЧ-ниш. Можно представить накопительное кольцо как пару гигантских «чертовых колес» по 31 320 кабин в каждом, которые вращаются в противоположных направлениях. Если два приятеля катаются на разных колесах и хотят встретиться в нужной точке, они должны сесть в совершенно определенные кабины. Аналогично, чтобы сгустки электронов и позитронов столкнулись в центрах детекторов, частицы должны вводиться в кольцо и накапливаться в строго соответствующих друг другу нишах. Это достигается с помощью очень точной синхронизации между РЧ-системой и системой инжекции.

ПОСЛЕ того как частицы накопились в достаточном количестве и доведены до нужной энергии, пучки LEP обычно циркулируют в кольце около 6 ч и многократно сталкиваются в детекторах. За это время каждая из 10^{12} частиц в пучках делает более 240 млн. оборотов и проходит около 6,5 млрд. км — больше, чем расстоя-

ние до Нептуна. Вся ускорительная труба должна быть откачана до очень низких давлений, поскольку на таком длинном пути даже несколько молекул газа могут столкнуться с пучком и нарушить его структуру.

Давление внутри трубы ускорителя составляет менее 10^{-11} мм рт. ст. Однако участок длиной около 20 км из 27-километрового пути подвержен действию синхронного излучения, которое вызывает десорбцию газа из стенок вакуумной камеры. Поэтому, когда по кольцу циркулируют пучки, давление поднимают до 10^{-9} мм рт. ст.

Только половина излучаемой мощности поглощается алюминиевыми стенками вакуумной камеры. Если не предпринять дополнительных мер, остальное излучение «прошло» бы стенки и попало в туннель, где высокий уровень радиации быстро разрушил бы органические материалы, такие, как резиновые прокладки, кабели и изоляция. Излучение реагировало бы также с воздухом с образованием озона и оксидов азота, которые в условиях влажности дали бы азотную кислоту с высоким коррозионным действием. Чтобы предотвратить попадание излучения в туннель, алюминиевая камера покрыта свинцовой обшивкой.

В ранее созданных электронных накопительных кольцах сверхвысокий вакуум достигался с помощью специальных ионных насосов, которые работали в поле отклоняющих магнитов. Но в ускорителе LEP поля отклоняющих магнитов слишком слабы и ионные насосы не могут работать как следует. Вместо этого использована не применявшаяся ранее в ускорителях новая система с особыми адсорбирующими металлическими лентами. Ширина этих лент 3 см, а общая длина составляет более 20 км. Они сделаны из константана (сплав меди и никеля), покрытого алюминиево-циркониевым сплавом. Этот материал «ловит» молекулы газа, как липучка — мух, образуя стабильные химические соединения с большинством активных газов, так что оставшиеся в камере молекулы газа просто «прилипают» к ленте.

Наконец, чтобы достичь давления менее 10^{-11} мм рт. ст., внутренние поверхности вакуумной камеры должны быть чрезвычайно чистыми. Каждая составная часть камеры тщательно очищалась химическими методами и затем хранилась в химически инертной среде. После установки в туннеле камеры были «прожарены» при температуре 150°C в течение 24 ч прокачиванием перегретой воды под давлением 8 атм через систему охлаждения алюминисо-свинцовых камер. Такие компоненты, как клапаны, из-

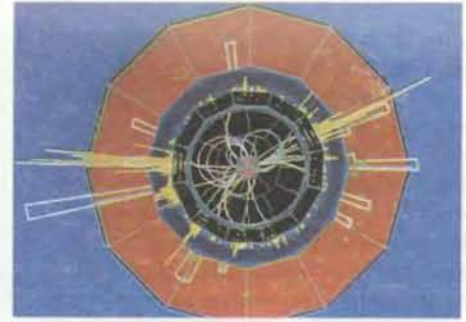
мерительные приборы, камеры из нержавеющей стали и электростатические сепараторы «прожаривались» электрическим током.

ЧТОБЫ производить достаточно стандартной модели, светимость пучков (величина, связанная с частотой столкновений электронов и позитронов в детекторах) должна быть весьма высока. Один из способов повышения светимости заключается в максимальном увеличении числа электронов и позитронов в сгустках. Для этого в каждый циркулирующий сгусток постоянно инжектируются новые частицы. Дальнейшего увеличения светимости можно добиться, фокусируя сгустки до очень малого объема в точке столкновения с помощью набора магнитных линз. На стадии I проектная максимальная светимость LEP составляет около $2,10^{31}$ частиц в секунду на 1 см^2 .

Достичь такой высокой светимости оказалось непросто. Множество побочных явлений, связанных со сложной физикой ускоренных пучков, снижают светимость. Прежде всего это эффект так называемого кильватерного поля. Кильватерные поля возбуждаются в компонентах ускорителя электромагнитными полями частиц в передней части сгустка, затем они возмущают частицы в хвостовой части сгустка, увеличивая амплитуду их поперечных осцилляций. Характерная для РЧ-ниш продольная возвращающая сила переводит эти частицы в переднюю часть сгустка. В результате из-за большей амплитуды поперечных осцилляций они возбуждают еще более сильные кильватерные поля. Такой нестабильный рост осцилляций в конце концов направляет частицы в стенки ускорительной трубы.

Эффект кильватерного поля можно снизить, если сделать ускорительную трубу как можно более симметричной в поперечном направлении и однородной — в продольном. Существует очень много неоднородностей: в участках РЧ-полостей, электростатических сепараторах и вакуумных насосах между камерами. При проектировании значительные усилия были направлены на то, чтобы минимизировать кильватерный эффект. В частности, использовались вакуумные насосы совершенно новой конструкции. В течение первых месяцев работы ускорителя LEP мы провели измерения характеристик пучка и обнаружили, что эффект кильватерного поля примерно на 30% меньше, чем предполагалось.

Сравнительно слабый кильватерный эффект, возможно, позволит в



НА ДИСПЛЕЕ КОМПЬЮТЕРА детектора Alerh видны «брызги» разлетающихся частиц, рожденных при электрон-позитронной аннигиляции.

будущем увеличить ток пучка, но сначала надо решить другую проблему. Интенсивность тока, достигнутая в LEP на сегодняшний день, составляет 2,2 мА; эта величина несколько ниже проектной интенсивности, равной 3 мА. Мы предполагаем, что эта несколько меньшая интенсивность связана с намагничиванием никеля, который использовался для скрепления свинцовой обшивки с алюминиевыми стенками вакуумных камер. Толщина никелевого слоя всего 10 мкм, и магнитное поле, создаваемое им, очень слабо, однако этого достаточно, чтобы довольно существенно рассеять пучок. Этот эффект можно в принципе устранить, либо вводя компенсирующие магнитные поля, либо размагничивая никель.

Еще один важный фактор, определяющий светимость, — это число сгустков частиц, циркулирующих в кольце. Очевидно, что чем больше сгустков, тем чаще они будут сталкиваться. На число сгустков в свою очередь влияют четыре причины.

Во-первых, это РЧ-мощность, требуемая для поддержания энергии пучка. На стадии I эта мощность в ускорителе LEP составляет всего 1,2 МВт. На стадии II потребуется мощность 12 МВт при том же токе пучка. Но если число сгустков увеличить, например, в 10 раз, то эта мощность на стадии I (55 ГэВ) составит 12 МВт, а при энергии 100 ГэВ будет поглощаться мощность 120 МВт.

Во-вторых, это появление дополнительных точек столкновения, которые следует устранить. Число точек столкновения всегда в два раза превосходит число циркулирующих сгустков частиц каждого типа. Как отмечалось выше, вращающиеся в противоположных направлениях сгустки взаимодействуют между собой в точках столкновения, поэтому пучки должны разделяться сложной системой электростатических сепараторов во всех «паразитных» точках

столкновения, кроме тех точек внутри детекторов, где они и должны сталкиваться.

В-третьих, это «долгосрочный» кильватерный эффект. «Краткосрочное» кильватерное поле, обсуждавшееся выше, возмущает хвостовую часть сгустка. «Долгосрочное» кильватерное поле воздействует на последующие сгустки, так же как турбулентные вихри, вызванные пролетом реактивного самолета, сотрясают любой другой самолет, попавший в его след. Сила этого эффекта тесно связана с расстоянием между сгустками. Уже сейчас при четырех электронных и четырех позитронных сгустках, циркулирующих в LEP, требуется следящая и корректирующая система обратной связи, компенсирующая «долгосрочное» кильватерное поле. Сложность и стоимость такой системы возрастает при увеличении числа сгустков, циркулирующих в LEP.

Наконец, следует учитывать ограниченную возможность детекторов перерабатывать поступающую информацию. Для детектирующих электронных устройств требуется конечное время, чтобы зарегистрировать событие и измерить его характеристики. Большее число сгустков увеличивает скорость набора событий, и для детекторов потребуется более сложная и более дорогостоящая электронная система.

По всем этим причинам на первой стадии в ускорителе LEP предполагалось использовать всего четыре сгустка в каждом пучке. Когда на стадии II потребуется большая мощность, вероятно, можно будет также эксплуатировать установку при энергиях первой стадии, но с большим числом сгустков. Это предположение сейчас изучается. Оно связано с установкой новой системы сепараторов, а также новой следящей и корректирующей системы. К тому же требуется существенно модифицировать электронную систему. Сегодня кажется вполне возможной схема с 36 сгустками на пучок.

В НАСТОЯЩЕЕ время, если говорить о самом ускорителе, первая стадия эксплуатации LEP успешно завершена. Сейчас мы стараемся поднять светимость до проектной величины и, может быть, немного ее превзойти. На второй стадии энергия пучков увеличится до 100 ГэВ. Чтобы достичь таких энергий, потребуются, однако, гораздо большие мощности для компенсации потерь на синхротронное излучение. Кроме того, при использовании обычных РЧ-систем тепловые потери энергии будут огромны. Следовательно, важно уменьшить тепловые потери в стен-

ках ускоряющих полостей почти до нуля. Достичь этого можно только при использовании сверхпроводящих РЧ-полостей.

Мы постоянно работаем над усовершенствованием конструкции и технологии производства сверхпроводящих полостей и надеемся повысить напряжение на этих полостях от 5 МВ/м до 7 МВ/м. На второй стадии будут установлены примерно 200 таких полостей. Многие другие системы также потребуют усовершенствования. В частности, некоторые из сверхпроводящих квадруполей нужно будет заменить на более мощные. Для того чтобы обеспечить добавочную мощность, потребуются новые клистроны. Если все пойдет по плану, то в 1994 г. можно будет изучать частицы W^+ и W^- .

Мы исследуем также возможность создания поляризованных пучков, состоящих из частиц со спинами, ориентированными в направлении движения. Это позволит искать возможные отклонения от стандартной модели с большей чувствительностью.

Наконец, группа LEP изучает предложение о создании Большого адрон-

ного коллайдера внутри туннеля LEP. Большой адронный коллайдер (LHC) сможет сталкивать протоны при энергии 16 тыс. ГэВ в системе центра масс. Это — промежуточная энергия между энергиями ускорителя Tevatron в Национальной ускорительной лаборатории им. Ферми в Батавии (шт. Иллинойс, США) и Сверхпроводящего суперколлайдера SSC. Другая привлекательная возможность — это столкнуть 8000-ГэВ-ные протонные пучки, полученные на LHC, со 100-ГэВ-ными электронными пучками с ускорителя LEP.

Когда принимается решение о строительстве большого ускорителя (это относится и к LEP), очень трудно на начальных стадиях судить о том, правильно это решение принято или нет. Все выясняется только потом, когда ускоритель уже проработал около 10 лет. Первые несколько месяцев работы LEP уже оправдали многие ожидания ученых. Но не исключено, что самыми впечатляющими окажутся пока еще непредвиденные открытия, которые позволят сделать новый шаг в понимании законов природы.

Наука и общество

Измерить неизмеримое

В РАССТЕГНУТОЙ рубашке цвета хаки, с седеющими волосами и ожерельем на груди, Гильерм де ла Пена похож на золотоискателя, владельца ранчо или браконьера. Такие люди, которых влечет на Амазонку надежда на обогащение, не редкость в этом самом диком месте планеты.

Однако де ла Пена к ним не относится. В качестве директора Музея Голди в Белеме, одного из двух основных бразильских центров по исследованию Амазонии, он руководит группой приблизительно из ста ученых, тематика работ которых — от археологии до зоогеографии — столь же разнообразна, как и изучаемый ими регион. Но де ла Пена недоволен. «Проблема в том, — говорит он резким тоном, — что на Амазонке слишком много неизученного. И слишком много делается выводов, которые научно не обоснованы».

В январе около ста орнитологов, энтомологов, ботаников, специалистов по приматам и ученых других специальностей попытались сдвинуть проблему с места, создав карту сохранности видов. Участники десяти-

дневной встречи в Манаусе занимались ранжированием территорий, исходя из уровня эндемичности (определяемой числом видов, встречающихся только в данной местности), разнообразия и наличия видов, находящихся под угрозой уничтожения. В целом 53% территории бассейна Амазонки были отнесены к той или другой из пяти категорий, которые будут изучаться в первую очередь; остальные области либо недостаточно известны ученым, либо недоступны.

Карта сохранности видов, даже весьма приблизительная, принесет большую пользу. Таково мнение Энеуса Салати, нового директора Национального института исследований Амазонии. Этот институт — самый крупный научно-исследовательский центр в регионе, в нем работает 280 ученых. Салати — по специальности климатолог и уже находился на посту директора института в начале 80-х гг. Он полагает, что на 75—80% лесного массива полог должен сохраняться нетронутым. Цель Салати — разработать план устойчивого развития региона. Он считает необходимым дополнить биогеографическую карту результатами изучения почв, климата и местного населения. В ноябре эти



ДОЖДЕВОЙ ЛЕС в Сьерра-дос-Каракас (шт. Пара, Бразилия) — один из районов, рассматривавшихся учеными в целях установления приоритетов в природоохранных мероприятиях. Фото Луиса Мариго из фирмы Peter Arnold, Inc.

данные будут предоставлены другим бразильским ведомствам.

Однако собрать точные данные о биоте бассейна Амазонки — задача не из легких. По оценкам ученых в тропических и субтропических районах обитает не менее трех миллионов видов, а согласно отчету Национального научного совета США за 1989 г., их общее число может оказаться в 10 раз больше. Лишь в одном небольшом озере в бассейне Амазонки может водиться более ста видов рыб, что по замечанию Ульриха Сент-Пола, биолога из Института Макса Планка, «несколько осложняет» отбор экземпляров.

Разнородно и население региона. Согласно данным Музея Голди, из 170 местных языков Бразилии полностью описаны менее 20. Лингвистические исследования могут помочь и в таксономии: анализ языка каяпос — племени, обитающего в долине Ксингу, — уже позволил ученым «обнаружить» несколько новых видов пчел.

К счастью, усиливается поддержка исследований Амазонии, особенно со

стороны европейских стран, таких, как Великобритания и ФРГ, а также со стороны частных лиц. Джеймс Эдвардс из Национального научного фонда США говорит, что его учреждение рассматривает широкую программу по исследованию разнообразия жизни тропического леса. Предполагается совершенствовать систематику микробов и расширять экологические исследования; в настоящее время, несмотря на имеющийся биотехнологический потенциал, эти области развиты недостаточно.

Еще одна цель ННФ — подготовка новых специалистов в таких областях, как биология сохранения видов и экология их воссоздания. Совместно с Агентством международного развития США ННФ намечает в июле объявить об учреждении премиального фонда на первый год работы над проектом на общую сумму в несколько миллионов долларов.

Участие Бразилии, которое в данном случае необходимо, будет, как ожидается, возрастать. Новое правительство, пришедшее к власти в мар-

те, по-видимому, более озабочено сохранением Амазонии, чем предыдущее. В самом деле, Гиллен Пранс из Королевских ботанических садов в Кью (Великобритания) утверждает, что разрыв между безудержным истощением леса (сохранилось около 90% его первоначальной площади) и усилиями по его охране сужается.

Однако и Салати, и де ла Пена подчеркивают, что планы по охране лесов должны учитывать социальные нужды населения бразильской Амазонии, численность которого, включая 220 тыс. индейцев, составляет 1,4 млн. человек. Одним из путей смягчения противоречий является создание буферных зон — таких, как национальные парки и резерваты, где местные жители могли бы собирать каучук, бразильский орех и другие дары леса, — между биологическими заповедниками очень строгого режима и более населенными областями. «Если не поставить во главу угла социальные проблемы, — говорит де ла Пена, — проблеме Амазонии мы не решим».

В чем причина диабета?

Ответ на этот вопрос для тех случаев, когда диабет зависит от инсулина, известен. Причиной болезни является аутоиммунное разрушение производящих инсулин клеток. Сейчас становится ясным, почему начинается атака иммунной системы на такие клетки и почему она не прекращается

МАРК А. АТКИНСОН, НОУЭЛ К. МАКЛАРЕН

ЗАБОЛЕВАНИЕ, получившее сейчас название инсулинзависимый диабет, или диабет типа I, ранее приводило к смерти в течение года после установления диагноза. Исходной причиной смерти служила потеря способности поджелудочной железы вырабатывать инсулин, требующийся для нормального метаболизма. В 1921 г. инсулин был выделен из животных, благодаря чему стало возможным лечение диабета и в конечном итоге сохранение жизни многим миллионам больных.

Тем не менее ни животный инсулин, ни полученный сравнительно недавно человеческий не обеспечивают полного излечения. Больному в течение всей жизни нужно делать ежедневно одну или несколько инъекций инсулина. Более того, многие диабетики страдают в результате от изнурительных осложнений. При диабете со временем могут повреждаться кровеносные сосуды, что ведет к сердечной и почечной недостаточности, инсульту, слепоте. Часто наблюдаются и неврологические нарушения.

Усовершенствованные методы обеспечения организма больного инсулином могут замедлить развитие осложнений, однако идеальным решением проблемы было бы предотвращение диабета как такового. Но чтобы того добиться необходимо раскрыть коренные причины заболевания. В последние годы исследования этой проблемы значительно продвинулись. Сейчас ясно, что в основе инсулинзависимого диабета лежит аутоиммунный процесс: иммунная система атакует клетки поджелудочной железы собственного организма. Многие исследовательские группы в США и других странах, включая лабораторию авторов во Флоридском университете, достигли успехов в понимании деталей этого процесса. Мы пытаемся выяснить, какие из компонентов иммунной системы являются главными атакующими агентами, что инициирует аутоиммунную реак-

цию и что обеспечивает ее поддержание.

На основе этих исследований врачи скоро смогут выявлять среди населения тех, кому грозит инсулинзависимый диабет, что позволит начинать лечение на самых ранних стадиях заболевания. К началу следующего столетия станет также возможной безопасная превентивная терапия.

Аутоиммунный процесс, вызывающий инсулинзависимый диабет, высокоспецифичен и зачастую начинается до наступления половой зрелости. По этой причине заболевание называлось раньше ювенильным диабетом. Атака иммунной системы не затрагивает большинства клеток поджелудочной железы, секретирующих пищеварительные ферменты, ограничиваясь только теми клетками, которые производят гормоны. Эти клетки формируют сферические скопления, называемые островками Лангерганса, которые рассеяны по всей поджелудочной железе. Даже в самих островках три из четырех типов клеток не подвергаются повреждению; страдают лишь расположенные в крупных ядрах островков бета-клетки, производящие инсулин.

Инсулин помогает большинству клеток организма потреблять биологическое топливо, в том числе глюкозу. При гибели бета-клеток поджелудочная железа прекращает производство этого важного гормона и глюкоза накапливается в крови. Аномально высокий уровень глюкозы в крови и является характерным признаком диабета. При этом происходит обезвоживание организма из-за усиленной работы почек, выделяющих избыток глюкозы с мочой. Тем временем клетки организма, не потребляя глюкозу, испытывают недостаток в источниках энергии и потому начинают бесконтрольно расщеплять свои запасы жиров и белков. Если распад жиров не прекратится, то в организме в аномальном количестве образуются кислотные конечные продукты их мета-

болизма, называемые кетоновыми телами. Это в сочетании с обезвоживанием может привести к коме и в конце концов к смерти.

Инъекциями инсулина удается приостановить эту фатальную последовательность событий и предотвратить ее повторение. Но они не могут ни имитировать нормальный характер секреции инсулина поджелудочной железой, ни нормализовать метаболизм клеток в такой степени, чтобы предотвратить отдаленные осложнения диабета, обусловленные или усугубленные хронически повышенным содержанием глюкозы в крови.



ОСТРОВКИ ЛАНГЕРГАНСА поджелудочной железы содержат клетки, производящие гормоны; в том числе в так называемых бета-клетках образуется инсулин. На фотографии справа островки выявлены в срезе нормальной железы с помощью флуоресцирующего антител против компонентов цитоплазмы клеток островков (ярко-зеленый цвет). Взаимодействие этих антител, выделенных из крови больного инсулинзависимым диабетом, со здоровыми островками указывает на аутоиммунную атаку. Болезнь проявляется после того, как выходит из строя большая часть бета-клеток.

ОДНО время предполагалось, что бета-клетки внезапно гибнут в результате вирусной инфекции или действия какого-либо токсического вещества. Эта точка зрения основывалась на том, что чаще всего симптомы диабета появляются внезапно. Первыми кардинальными признаками заболевания являются: «волчий» аппетит (из-за нехватки источников энергии в тканях), частое мочеиспускание (из-за усиленной работы почек) и неутолимая жажда (из-за необходимости восполнять потерю воды с мочой).

У больных может также поразительно быстро уменьшаться вес тела: нередко за две недели теряется до 7 кг. В некоторых случаях очень скоро начинается коматозное состояние и, если не принять соответствующих мер,

наступает смерть, хотя за несколько дней или недель до того человек мог выглядеть совершенно здоровым.

В противоположность этому симптому инсулинезависимого диабета (тип II), который вызывается совершенно другими причинами (в настоящее время они исследуются), обычно значительно менее выражены. У больных этим диабетом, который проявляется, как правило, после 40 лет и связан с избыточным весом, инсулин образуется в различных количествах, но снижена эффективность его использования. В некоторых случаях назначается инсулин для контроля уровня глюкозы в крови, но нет нужды в ежедневных инъекциях гормона.

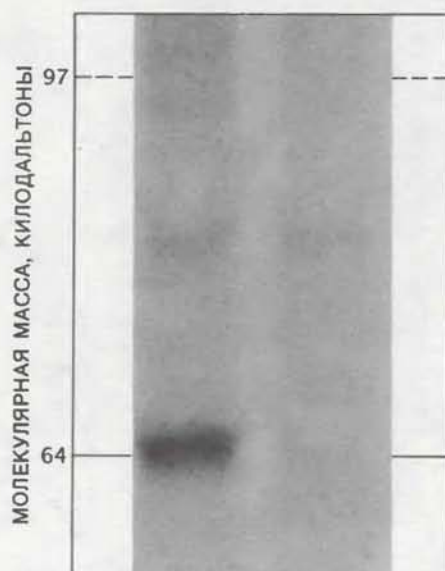
Несмотря на внезапность симптомов, инсулинзависимый диабет раз-

вивается постепенно. Обычно это заболевание скрыто «назревает» в течение нескольких лет, по мере того как иммунная система медленно уничтожает бета-клетки. Классические симптомы появляются только после разрушения 80% этих клеток; остальные ликвидируются в течение последующих 2—3 лет.

Первые важные указания на значение иммунной системы в развитии инсулинзависимого диабета были получены при посмертном анализе ткани поджелудочной железы у больных, скончавшихся вскоре после установления диагноза. Обнаружилось воспаление островков Лангерганса и заполнение их белыми клетками крови (лимфоцитами и моноцитами), которые в норме участвуют в борьбе организма с инфекцией, атакуя заражен-

ные микробами клетки. Это воспаление, называемое инсулитом, теоретически может объясняться соответствующей защитой от чужеродных организмов, проникших в бета-клетки и производящих там антигены (вещества, отмечающие чужеродный организм как «не свой»), располагающиеся на клеточной поверхности.

Однако дальнейшие исследования показали, что причиной заболевания является аутоиммунный процесс. Так, больные инсулинзависимым диабетом часто страдают другими аутоиммунными расстройствами. Кроме того, у больных с недавно диагностированным диабетом и у тех, кому прогнозировано развитие диабета через несколько лет, обнаружены антитела, которые можно назвать аутоантителами, против компонентов клеток островков (аутоантигенов). Антитела — элемент гуморальной части иммунного ответа, так что наличие



БЕЛОК молекулярной массой 64 килодальтон (К), обнаруживаемый только в бета-клетках островков Лангерганса поджелудочной железы, вызывает образование специфических антител против самого себя при диабете и преддиабетическом состоянии, но не у здоровых людей. Эти аутоантитела появляются прежде других признаков диабета, поэтому можно считать, что белок 64-К участвует в инициации аутоиммунного процесса, приводящего к диабету. Присутствие аутоантител у человека при подозрении на диабет определяют непрямым образом, смешивая образец крови с белками островков, несущими радиоактивную метку. Аутоантитела, содержащиеся в крови, дают реакцию преципитации с белками, которые они узнают. Эти белки затем идентифицируют путем электрофореза в геле, где они разделяются по молекулярной массе. Электрофореграмма показывает, что у больного диабетом (слева) есть реакция на белок 64-К (темная полоса), а у здорового человека (справа) — нет.

аутоантител говорит об атаке иммунной системой компонентов собственного организма.

ОБРАЗОВАНИЕ аутоантител вовсе не означает, что они являются главными агентами в разрушении бета-клеток, но такую возможность следует учитывать. Антитела, которые производятся активированными В-лимфоцитами, антигенспецифичны, т. е. данное антитело способно связываться только с одним определенным антигеном. Когда антитела узнают данный антиген на клетке-мишени, они могут нарушать функционирование этой клетки непосредственно или с помощью деструктивной активности других компонентов иммунной системы — макрофагов (клеток-«мусорщиков», поглощающих различные частицы), цитотоксических NK-клеток (от англ. natural killer — природный убийца) или белков, известных под общим названием системы комплемента (эти белки прикрепляются к не занятой антигеном части молекулы антитела и затем нарушают целостность мембраны клетки).

Наиболее подробно изучены три вида аутоантител, которые у больных диабетом и их родственников встречаются чаще, чем среди населения в целом. В 1970-х годах Д. Донья, Ж. Боттаццо и их коллеги в Миддлсексской больнице в Лондоне обнаружили аутоантитела, взаимодействующие с цитоплазмой всех клеток островков. Эти антитела, названные ICA (от англ. islet-cell autoantibody), возможно, направлены против сложного липида, относящегося к ганглиозидам.

Спустя десять лет С. Беккесков и А. Лернмарк в Хагедорнской исследовательской лаборатории в Дании открыли аутоантитела, получившие название 64-К, поскольку взаимодействовали с нормальным белком островков, о котором мало что известно с достоверностью, кроме его молекулярной массы 64 килодальтон (К). Этот белок есть только в плазматической мембране бета-клеток.

Антитела, обнаруженные Дж. Палмером и его коллегами в Вашингтонском университете, взаимодействуют с инсулином. Практически у всех больных диабетом, получающих инсулин, образуются «стандартные» антитела к инъекцируемому инсулину. Но идентифицированные Палмером антитела присутствуют у многих больных инсулинзависимым диабетом еще до начала инъекций инсулина.

Если какие-то из этих трех видов аутоантител и атакуют бета-клетки, то, скорее всего, аутоантитела 64-К.

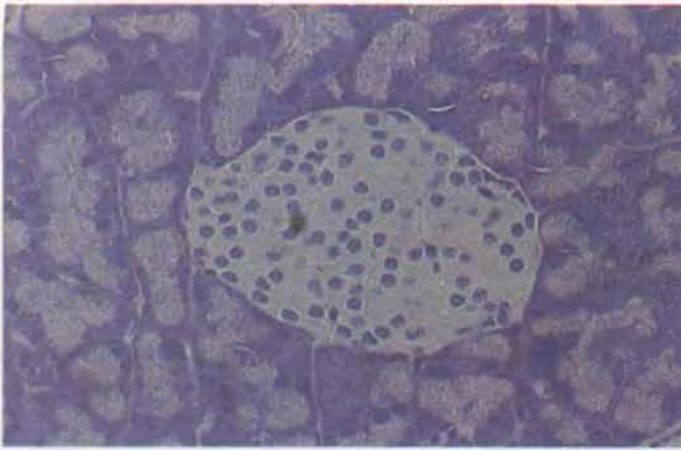
Они специфичны по отношению к бета-клеткам (в отличие от антител к цитоплазме клеток островков), и мы показали, что они появляются в организме прежде других аутоантител задолго до установления диагноза. Кроме того, именно аутоантитела 64-К, а не два других вида антител имеются у лабораторных животных, являющихся экспериментальными моделями инсулинзависимого диабета — крыс BB (от англ. BioBreeding) и мышей NOD (от англ. nonobese diabetic — диабет без тучности); у последних производятся также антитела к инсулину. У этих животных аутоантитела 64-К образуются прежде других, одновременно с развитием инсулита.

Тем не менее нет убедительных доказательств того, что именно аутоантитела 64-К являются первичными агентами, вызывающими гибель бета-клеток. Если аутоантитела играют главную роль в развитии диабета, то введение их здоровым животным должно было бы приводить к заболеванию. Однако в экспериментах с хомячками этого не наблюдалось. Среди детей, родившихся от женщин, страдающих инсулинзависимым диабетом, не известны случаи возникновения диабета во внутриутробный период развития, хотя материнские антитела свободно проникают через плаценту в ткани плода.

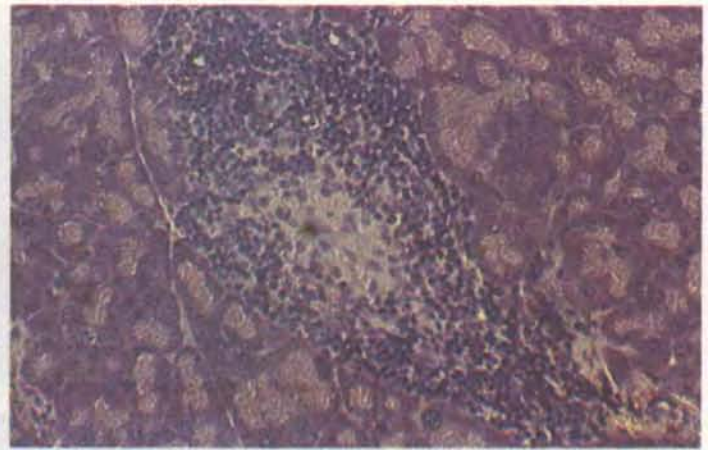
Проблема пока не разрешена. Все же мы, как и многие другие исследователи, считаем, что ключевую роль в развитии инсулинзависимого диабета играет не гуморальный, а клеточный иммунный ответ. В нормальных условиях клеточный ответ, выполняемый главным образом лимфоцитами, обеспечивает ликвидацию вирусов и других проникающих в клетки патогенов.

«Центральной командой» в этом процессе являются хелперные (от англ. help — помощь) Т-лимфоциты, которые образуются в костном мозге и созревают в тимусе. Эти клетки обладают рецепторами, узнающими определенные антигены. Т-лимфоциты активируются только после связывания с их рецепторами антигена, ассоциированного с молекулами белков класса II так называемого главного комплекса тканесовместимости (МНС — от англ. major histocompatibility complex), на поверхности макрофагов и других клеток, представляющих антиген. Главный комплекс тканесовместимости у человека — это участок хромосомы 6 (у мышей — хромосомы 17), содержащий гены маркерных белков, которыми ткани одного индивида отличаются от аналогичных тканей другого.

Активированные хелперные Т-лим-



ОСТРОВКИ ЛАНГЕРГАНСА у нормальных мышей (слева) выглядят иначе, чем у мышей NOD (больных диабетом без тучности), являющихся экспериментальной моделью инсулинзависимого диабета человека (справа). У больных жи-



вотных островки инфильтрированы лимфоцитами (темные сферические частицы). Такое воспаление (инсулит) свидетельствует об аутоиммунном процессе.

фоциты секретируют цитокины (пептидные медиаторы), которые усиливают иммунный ответ. Один из цитокинов, интерлейкин-2, стимулирует пролиферацию как самих хелперных, так и цитотоксических Т-лимфоцитов. Эти цитотоксические клетки узнают антиген, только если он находится в ассоциации с молекулами МНС класса I. Другие интерлейкины стимулируют секрецию антител В-лимфоцитами и, таким образом, значительно усиливают гуморальный иммунный ответ.

Имеются весомые указания на то, что лимфоциты являются главным агентом, вызывающим гибель бета-клеток. У крыс BB и мышей NOD трансплантация здоровым животным клеток селезенки (которая богата NK-клетками и Т-лимфоцитами) от животных, недавно заболевших диабетом, приводит к развитию диабета у реципиентов. Более того, предварительные данные К. Лафферти из Центра Барбары Дэвис по ювенильному диабету в Денвере свидетельствуют, что лимфоциты из периферической крови людей с недавно диагностированным инсулинзависимым диабетом могут вызывать инсулит у так называемых «голых» мышей, лишенных нормальных Т-лимфоцитов.

Пока нельзя определенно сказать, какие клетки в большей степени «виновны» в разрушении бета-клеток — Т-лимфоциты или NK-клетки. По нашему мнению, ведущую роль играют Т-лимфоциты. А. Россини и А. Лайк из Медицинской школы Массачусетского университета, а также А. Рабинович из Медицинской школы Университета пров. Альберта в Эдмонтоне (Канада) обнаружили, что у крыс BB при развитии диабета NK-клетки наиболее активны. Однако в другом исследовании было показано, что у мышей NOD активнее Т-лимфоциты,

а именно эта модель ближе всего к диабету человека. Кроме того, при инсулите у человека преобладают именно Т-лимфоциты.

ЧТО ЖЕ заставляет иммунную систему организма ополчиться на собственные бета-клетки? Одно время предполагалось, что в основе механизма, инициирующего иммунный ответ, лежит появление на поверхности бета-клеток какого-то аномального вещества, например белка, кодируемого мутировавшим геном. Но новейшие исследования не подтвердили этого предположения. Если бы в процессе развития диабета участвовал какой-нибудь аномальный антиген, то у больных в период до или сразу после установления диагноза присутствовали бы аутоантитела к этому антигену. Но на самом деле все идентифицированные на сегодняшний день аутоантитела к бета-клеткам реагируют с теми или иными нормальными компонентами островков.

Более того, как показали наши коллеги А. Пек и Д. Ла Фейс, если у еще незаболевших мышей NOD разрушить иммунную систему и заместить ее клетками костного мозга от нормальных мышей, развитие инсулита и диабета предотвращается. Если бы бета-клетки реципиентов несли аномальный антиген, то трансплантированная нормальная иммунная система неминуемо заметила бы его и отреагировала.

В действительности происходит обратное. Если у нормальных мышей иммунную систему заменить клетками костного мозга мышей NOD, то у реципиентов наблюдается воспаление островков и во многих случаях развивается явный диабет, хотя их бета-клетки исходно были нормальными. Эти результаты не подтверждают также и распространенной ранее ги-

потезы о вирусной этиологии инсулинзависимого диабета. Согласно этой гипотезе вирусная инфекция бета-клеток приводит к появлению в них чужеродного антигена.

Аутоиммунный процесс при диабете может возникать благодаря своего рода мимикрии на молекулярном уровне (см. статью: Коэн А. Свое, чужое и аутоиммунитет. «В мире науки», № 6, 1988), при которой чужеродные антигены — такие, как компоненты вирусов или других микроорганизмов — провоцируют в организме нормальный иммунный ответ. Если по своим химическим свойствам или структуре такой антиген имитирует нормальные компоненты бета-клеток, то он будет стимулировать также иммунную атаку на бета-клетки. Не вызывает сомнений, что антигенная мимикрия имеет место при других аутоиммунных заболеваниях, например при ревмокардите, случающемся вследствие стрептококковой инфекции горла.

Мы считаем вполне вероятным, что белок 64-К имитирует какой-то чужеродный антиген и в этом качестве провоцирует аутоиммунную атаку на бета-клетки. В пользу такого предположения говорит неизменно раннее появление аутоантител против белка 64-К, что указывает на его важную роль в начальных стадиях атаки на бета-клетки.

А. Коэн и его коллеги из Вейцмановского института (Израиль) недавно обнаружили, что в числе действующих таким образом антигенов бывают некоторые бактериальные белки теплового шока, образующиеся при стрессе. Когда этими белками иммунизировали нормальных мышей и затем пересаживали их Т-лимфоциты здоровым животным, у тех начинался инсулит и повышалась концентрация глюкозы в крови.

В ОБЩИХ чертах можно сказать, что, когда некий провоцирующий фактор (антигенная мимикрия?) вызывает иммунный ответ (клеточный?), направленный против бета-клеток, их аутоиммунное разрушение происходит таким же образом, как если бы эти клетки были заражены вирусом: соответствующие хелперные Т-лимфоциты размножаются и активируют другие компоненты иммунной защиты организма.

Однако в эту простую картину следует внести два существенных добавления. Во-первых, разрушение бета-клеток, по-видимому, ускоряется вследствие их необычайно высокой чувствительности к иммунной атаке. Во-вторых, сама иммунная атака оказывается более выраженной и длительной, чем должно быть при нормальном ответе на вирусную инфекцию.

Повышенная чувствительность бета-клеток связана с рядом их особенностей. При повреждении этих клеток на их поверхности появляется избыточное количество молекул МНС

класса I, что облегчает атаку ткани цитотоксическими Т-лимфоцитами. Кроме того, бета-клетки, похоже, особенно подвержены повреждающему действию цитокинов. Так, Й. Неруп из Больницы им. Николаса Стено в Дании и Рабинович показали, что секретируемый активированными макрофагами интерлейкин-1 обладает прямым токсическим действием на бета-клетки, но менее токсичен для других клеток. И наконец, бета-клетки, как правило, необычайно чувствительны к свободным радикалам (высокоактивным молекулам, содержащим атом кислорода с неспаренным электроном), которые высвобождаются поврежденными клетками и макрофагами.

Многие исследователи видят в основе избыточности иммунной атаки на бета-клетки несколько механизмов. Вероятно, отчасти дело в избыточной реакции хелперных Т-лимфоцитов на аутоантигены бета-клеток. При этом природная супрессорная система, которая должна сдерживать аутоиммунную актив-

ность, бездействует или оказывается неэффективной. Природа нормальных процессов, подавляющих аутоиммунную активность, пока мало понятна, так что сейчас невозможно исчерпывающе объяснить, почему такие процессы не останавливают аутоиммунное разрушение бета-клеток. Тем не менее исследования, проведенные на мышах NOD, позволили предположить, что это имеет генетические причины.

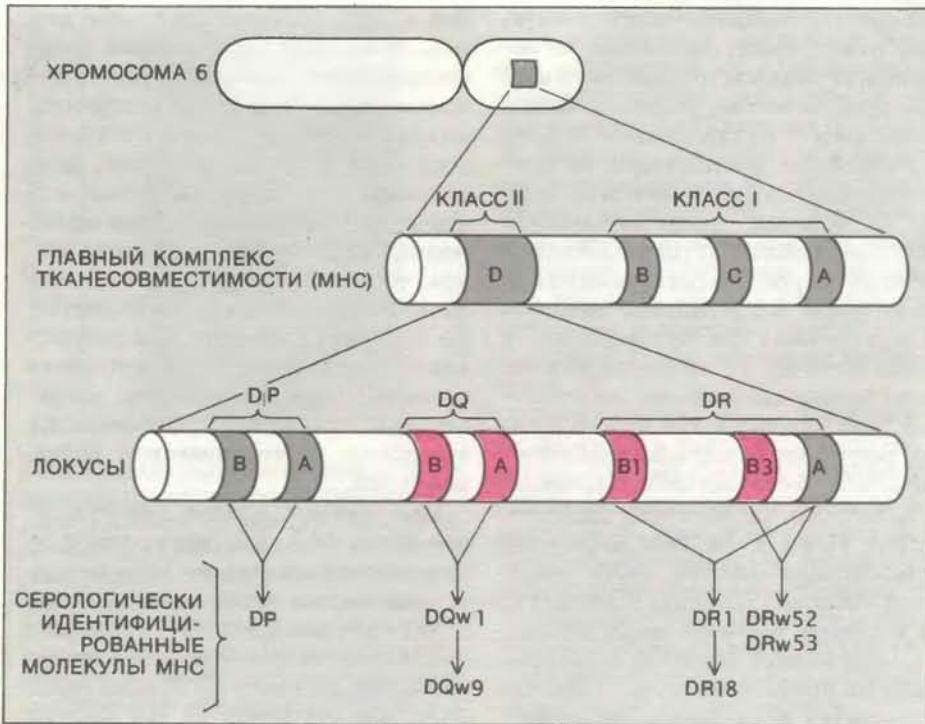
Мышам NOD свойственны генетические аномалии в области генов МНС класса II, которые вносят вклад в предрасположенность этих животных к развитию диабета. У мышей существуют два типа белков МНС класса II: один из них, белок IE, по-видимому, важен для нормальной супрессорной активности, а другой, IA, участвует в узнавании антигенов Т-лимфоцитами.

Оказывается, у мышей NOD ген *IE* не экспрессируется, т. е. не синтезируется белок *IE*. Х. Нисимото из Университета в Осаке (Япония) обнаружил, что если у мышей NOD вызвать экспрессию этого гена (путем переноса генов), то инсульт практически не развивается. Следовательно, отсутствие активности гена *IE*, возможно, является одним из факторов, способствующих развитию диабета. Это, конечно, не единственная причина заболевания. Однако инактивация гена *IE* может приводить к развитию диабета и у мышей других линий. В то же время известно много линий мышей во всех прочих отношениях нормальных, у которых не экспрессируется ген *IE*, но тем не менее не развиваются ни инсульт, ни диабет. На сегодняшний день нельзя с уверенностью сказать, участвует ли в аутоиммунном процессе при диабете у человека нарушение экспрессии гена, аналогичного мышному гену *IE*.

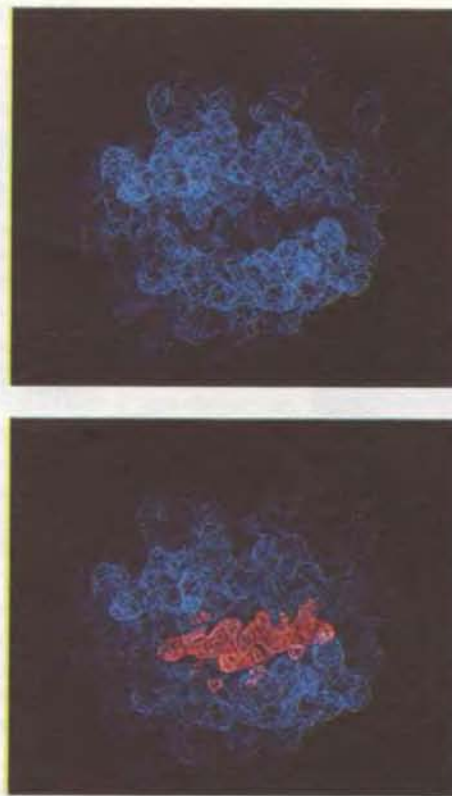
Значительно большие успехи достигнуты в поисках причины избыточности аутоиммунной атаки на бета-клетки. У мышей наследование гена специфического варианта белка IA (того, который свойствен всем мышам NOD) увеличивает подверженность диабету.

Э. Лейтер из Джексоновской лаборатории в Бар-Харборе показал, что в развитии диабета у мышей NOD участвуют по крайней мере еще два других гена, функции которых пока не ясны. Когда эти гены будут лучше охарактеризованы, возникнет возможность использовать их в качестве зондов для идентификации аналогичных генов у человека.

К подверженности инсулинзависимому диабету у человека тоже имеют отношение гены МНС класса II. Об-



ГЕНЫ главного комплекса тканесовместимости (МНС), который у человека помещается в хромосоме 6, имеют значение в развитии диабета. Эти гены располагаются в участке D, разделяющемся на три локуса: DP, DQ и DR. Все три локуса кодируют белки МНС класса II, у которых молекула состоит из двух полипептидных цепей A и B. Вследствие полиморфизма, т. е. существования нескольких различных вариантов некоторых из этих генов (выделены цветом), возникает разнообразие молекулярных типов (указаны нумерацией). При инсулинзависимом диабете часто встречаются гены, кодирующие белки DR 1, 3 и 4, которые сами по себе, по-видимому, непосредственно не определяют подверженности диабету. Но гены DQ, наследуемые сцепленно с ними, обладают таким свойством. Наличие аспарагиновой кислоты в 57-м положении B-цепи белка DQ препятствует развитию диабета. Если же в этом положении стоит другая аминокислота, подверженность организма диабету увеличивается.



ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ молекул МНС помогает понять, почему отсутствие аспарагиновой кислоты в положении 57 В-цепи белка DQ способствует возникновению диабета. Д. Уили с коллегами из Гарвардского университета показали, что молекулы МНС класса I (слева) состоят из «тяжелой» α -цепи (синяя) и более мелкого, обратимо связывающегося полипептида, называемого β_2 -микроглобулином (желтый). Первые два домена α -цепи формируют расщелину для связывания антигена. На компьютерных изображениях (в середине) показан вид сверху на эту расщелину, когда она пуста (вверху) и занята антигеном (розовый; внизу). Белки МНС класса II на поверхности макрофагов, участвующие в представлении антигена хелперным

Т-лимфоцитам (справа), по-видимому, сходны с белками класса I за тем исключением, что их А-цепь напоминает комбинацию первого домена α -цепи и β_2 -микроглобулина, В-цепь — остальную часть α -цепи. Предполагается, что в белках МНС класса II аминокислота в 57-м положении В-цепи располагается на поверхности расщелины, в которой связывается антиген, и влияет на прочность связывания антигена или на узнавание его Т-лимфоцитами. Аспарагиновая кислота, может быть, вызывает ослабленное связывание антигена, имеющего отношение к диабету, и аутоиммунный ответ не возникает. Другие аминокислоты, возможно, обеспечивают прочное связывание и сильный ответ.

ласть этих генов, известная под названием участок D, включает три локуса: DP, DQ и DR. Каждый из локусов кодирует белковую молекулу, состоящую из двух полипептидных цепей, обозначаемых А и В. К настоящему времени связь с диабетом установлена только для локусов DQ и DR. Гены обоих локусов существуют в нескольких вариантах (аллелях), поэтому в популяции может быть много различных белков DQ и DR (для удобства они пронумерованы). Поскольку гены DQ и DR наследуются от обоих родителей, у каждого индивида может быть по два варианта белков DQ и DR.

Давно известно, что у больных инсулинзависимым диабетом особенно часто имеются гены, кодирующие белки DR 1, DR 3 и DR 4, а гены белков DR 2 и DR 5 встречаются относительно редко. Это позволяет думать, что гены DR 1, DR 3 и DR 4 увеличивают подверженность диабету либо наследуются систематически с тем геном, который определяет такую под-

верженность. Напротив, гены DR 2 и DR 5, возможно, создают некую защиту от диабета либо сцеплены с геном, определяющим эту защиту.

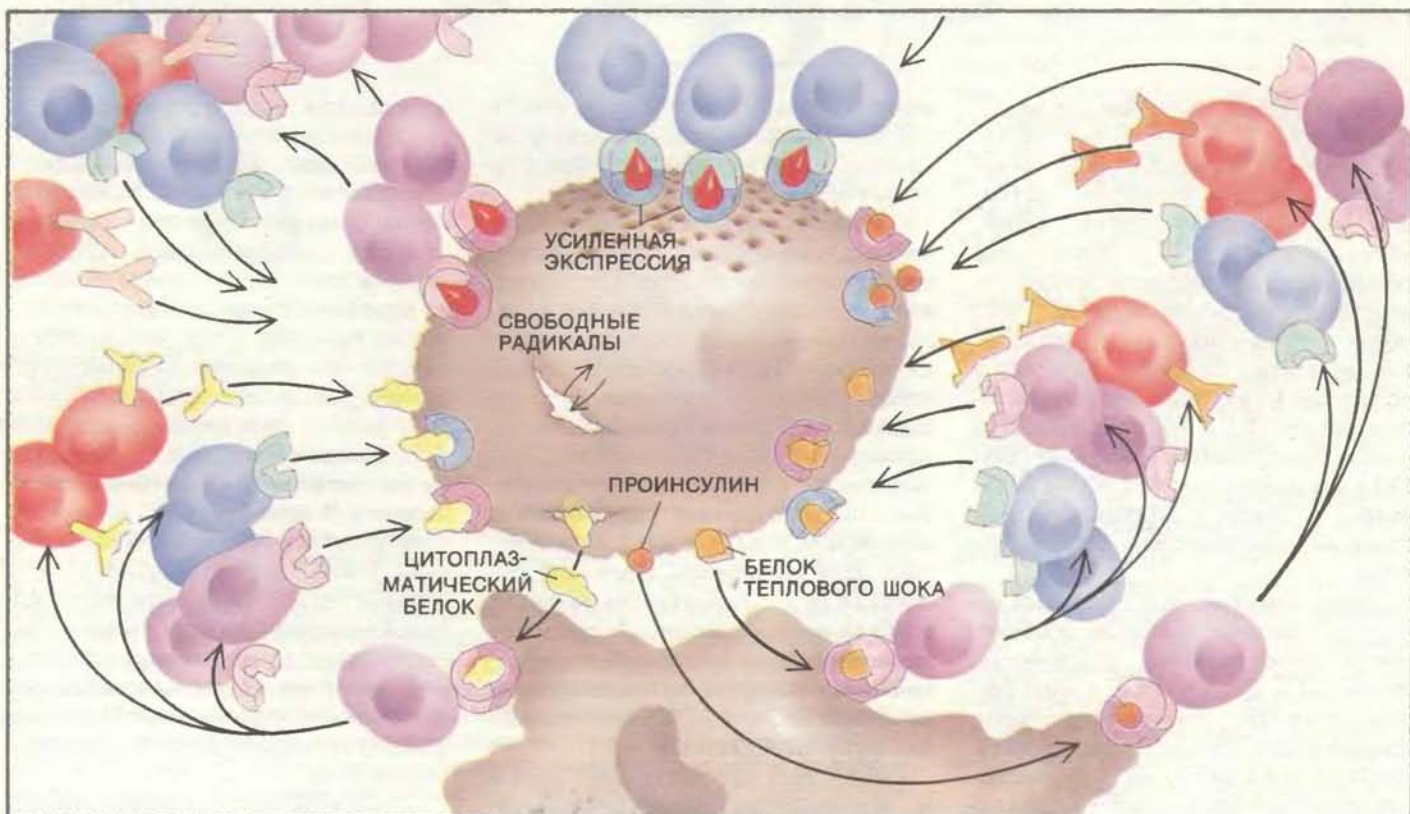
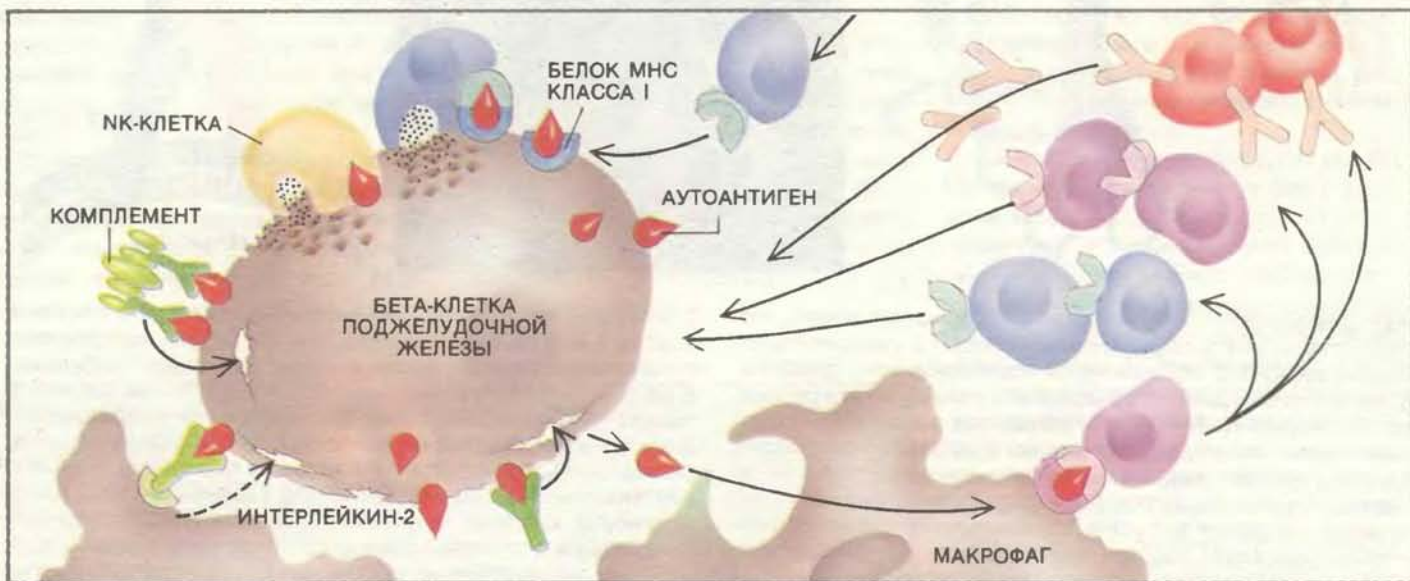
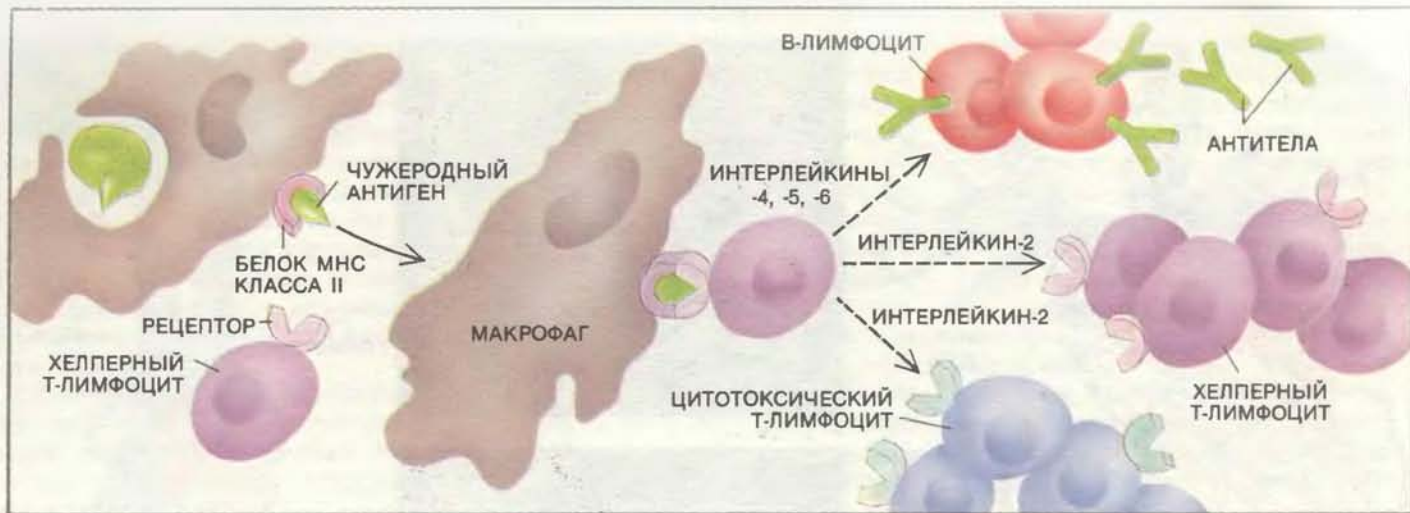
Сейчас исследователи сосредоточились на поисках гена специфической подверженности диабету. Оказалось, что ген, кодирующий белок DR 4, наследуется сцепленно с геном, кодирующим белок DQw 3,2 (w представляет собой временное обозначение, а цифрой после запятой данный белок отличается от других белков DQw 3, обладающих серологическим сходством, но некоторыми различиями в аминокислотной последовательности). Для индивидов, имеющих ген белка DQw 3,2, вероятность развития диабета весьма высока. А среди многочисленных носителей гена белка DR 4, у которых есть одновременно белок DQw 3,1, заболеваемость диабетом заметно ниже.

Около двух лет назад Дж. Тодд и Х. Макдевитт из Станфордского университета идентифицировали участок молекул DQ, который усиливает под-

верженность диабету, и обнаружили, что у носителей генов белков DR 1 — DR 6 эта подверженность определяется аминокислотой в 57-м положении В-цепи белка DQ. Если это положение занимает аспарагиновая кислота, которая несет отрицательный заряд, то вероятность заболевания относительно невелика. Если же там расположена нейтральная аминокислота, например валин или серин (как в белке DQw 3,2), то риск увеличивается.

Со времени открытия защитной роли аспарагиновой кислоты в 57-м положении В-цепи белка DQ обнаружилось исключение из этого общего правила. Тем не менее отсутствие аспарагиновой кислоты в нужном месте белковой молекулы можно считать фактором риска возникновения диабета у многих людей. Причины такой ее роли начинают проясняться благодаря анализу пространственной структуры белков МНС.

Белки МНС класса I сейчас изучены полнее, чем класса II. Однако на основании данных рентгеновской кристал-



СЦЕНАРИЙ АТАКИ НА БЕТА-КЛЕТКИ

1
ПРОЦЕСС НАЧИНАЕТСЯ с сильного иммунного ответа на чужеродный антиген (*зеленый*), похожий на нормальный компонент бета-клеток. Макрофаги, встретив где-то в организме чужеродный антиген, поглощают его и представляют на своей поверхности в сочетании с белками МНС класс II хелперным Т-лимфоцитам. Те в результате начинают секретировать интерлейкины, стимулирующие активность других хелперных клеток, а также В-лимфоцитов, производящих антитела, и цитотоксических Т-лимфоцитов.

2
СЛЕДУЮЩИЙ ЭТАП происходит в поджелудочной железе, где sensibilized цитотоксические Т-лимфоциты узнают на бета-клетках аутоантиген (*красный*), который имитируется чужеродным антигеном. В этом узнавании участвуют белки МНС класса I, которые есть почти на всех клетках организма. Аутоантигена также связываются с бета-клетками и повреждают их либо сами, либо с помощью других компонентов иммунной системы, например токсичных белков, известных под общим названием комплемента. Позднее в процесс вовлекаются макрофаги, которые стимулируют хелперные Т-лимфоциты, и разрушение бета-клеток усиливается.

3
ДАЛЬНЕЙШАЯ АТАКА развивается по мере повреждения бета-клеток. Они производят избыток молекул МНС класса I, увеличивая тем самым активность цитотоксических Т-лимфоцитов. На их поверхности появляются также белки МНС класса II. Вообще, это должно стимулировать супрессию аутоиммунных процессов. Однако в преддиабетическом состоянии происходит обратное, и активность хелперных Т-лимфоцитов еще более увеличивается. Кроме того, на поверхности поврежденных бета-клеток появляются белки, например проинсулин, которые в норме находятся внутри клеток. Эти белки вызывают новую волну иммунной атаки, что в конце концов приводит к полной гибели бета-клеток.

лографии сформировались разумные представления о структуре последних. Показано, что в молекулах этих белков А- и В-цепи соединены в подобие буквы Х, одна сторона которой образована А-цепью, а вторая — В-цепью. «Верхние» сегменты цепей образуют что-то вроде расщелины, внутри которой связывается антиген.

Согласно этой модели, 57-я аминокислота В-цепи располагается на внутренней поверхности расщелины в месте, доступном и для антигена, и для рецептора Т-лимфоцитов. Свойства аминокислоты в этом положении могут существенно влиять на форму расщелины (в частности, на угол между ее стенками), что в свою очередь определяет прочность связывания различных антигенов. Возможно, при наличии в этом месте нейтральной аминокислоты особенно прочно связывается аутоантиген, ответственный за диабет. Прочное связывание должно увеличивать вероятность узнавания Т-лимфоцитами. Не исключено также, что прямой контакт между аминокислотой в 57-м положении В-цепи и рецептором Т-лимфоцитов сказывается на активности этих клеток.

Дальнейшие структурные исследования могут дать ответ на вопрос, почему наличие аспарагиновой кислоты в 57-м положении В-цепи белка DQ не всегда защищает от диабета. Как известно, антиген и связывающий его участок белка МНС контактируют в нескольких точках, так что заряд или форма аминокислотного остатка в каждой из этих точек может изменять представление антигена молекулами DQ.

Наверное, в будущем выяснится и связь диабета с другими генами, помимо главного комплекса тканевых антигенов. Во всяком случае, для мышей NOD показано несомненное участие многих генов в подверженности этих животных диабету.

НА ОСНОВАНИИ полученных к настоящему времени генетических и других данных можно предложить несколько сценариев возникновения и развития инсулинзависимого диабета. Мы разделяем следующую точку зрения. Человек, генетически предрасположенный к диабету, подвергается воздействию чужеродного антигена, обладающего близким сходством с неким компонентом бета-клеток (возможно, белком 64-K). Вскоре на поверхности макрофагов либо других клеток, представляющих антиген, появляется этот чужеродный антиген в сочетании с молекулами белков МНС класса II (такими, как DQw 3,2), которые связывают

его прочнее, чем в норме. Вследствие узнавания образованного комплекса хелперными Т-лимфоцитами возникает необычайно мощный и продолжительный иммунный ответ, направленный против чужеродного антигена, который может далее дополнительно усилиться, если сами рецепторы Т-лимфоцитов прочно свяжутся с комплексами антигена и молекул МНС класса II.

Затем активированные клетки иммунной системы, равно как и специфичные к данному антигену антитела, могут переноситься с током крови к поджелудочной железе, где по крайней мере некоторые бета-клетки несут компонент, похожий на чужеродный антиген. В большей части клеток организма образуются белки МНС класса I, так что молекулы аутоантигена могут оказаться в сочетании с этими белками и тогда они спровоцируют атаку бета-клеток цитотоксическими Т-лимфоцитами, уже sensibilized чужеродным антигеном-двойником. Тем временем антитела против чужеродного антигена могут связываться с бета-клетками и тем самым привлекать к ним макрофаги, комплемент и, возможно, NK-клетки.

Поврежденные в результате бета-клетки, быть может сначала и могли бы выдержать атаку, но макрофаги начинают представлять аутоантиген хелперным Т-лимфоцитом (скорее всего, одновременно они повреждают бета-клетки посредством интерлейкина-1). На этой стадии хелперные Т-лимфоциты размножаются и иммунный ответ, направленный против аутоантигена, усиливается.

Вскоре поврежденные бета-клетки, как бы пытались убедить иммунную систему, что они «свои», увеличивают образование белков МНС, причем не только класса I, но и, судя по результатам недавних исследований, класса II. Благодаря дополнительным молекулам МНС класса I возрастает атака бета-клеток цитотоксическими Т-лимфоцитами. В норме появление белков МНС класса II на клетках, не относящихся к иммунной системе, возбуждает супрессорную активность иммунной системы. При развитии диабета, однако, появление белков МНС класса II на бета-клетках приводит к обратному результату: из-за генетического дефекта иммунной системы супрессорный ответ не реализуется, а вместо этого привлекается еще больше хелперных Т-лимфоцитов и иммунный ответ усиливается.

К этому времени поврежденные бета-клетки и окружающие их активированные макрофаги производят зна-

чительное количество свободных радикалов, и бета-клетки оказываются неспособными противостоять их токсическому действию. Кроме того, белки, которые в норме удерживаются внутри бета-клеток (такие, как белки теплового шока, цитоплазматические ганглиозиды и проинсулин), могут появляться на их поверхности или выделяться наружу. Поскольку эти белки «не знакомы» иммунной системе, они воспринимаются ею как чужеродные. Макрофаги поглощают их и представляют хелперным Т-лимфоцитам, что вызывает следующий раунд иммунной атаки. Бета-клетки не могут выдержать столь жестокого нападения и вскоре погибают.

По мере того как все больше и больше клеток, производящих инсулин, выходит из строя, остающиеся здоровые клетки должны работать с возрастающей интенсивностью, чтобы обеспечить организм инсулином. Из-за этой гиперактивности клетки попадают как бы в состояние стресса, что проявляется в усилении образования аутоантигенов. В результате бета-клетки гибнут еще быстрее. В конце концов клеток, снабжающих организм инсулином, становится слишком мало, и «внезапно» проявляются признаки диабета.

ЧТОБЫ предотвращать иммунную атаку и разрушение бета-клеток у подверженных этому индивидов, нужно прежде всего уметь оценивать риск развития диабета. Мы и ряд других исследователей показали, что, определяя присутствие в организме аутоантител против цитоплазматических аутоантигенов и инсулина, можно предсказать развитие заболевания у близких родственников больных инсулинзависимым диабетом (для которых риск заболевания наиболее высок), а также в выборках из общей популяции.

В качестве диагностического показателя может выступать также присутствие аутоантител к белку 64-К. Такой тест, наверное, был бы оптимален для массовой проверки населения. Эти антитела появляются относительно рано, и мало у кого из больных инсулинзависимым диабетом они отсутствуют перед появлением симптомов заболевания. Существующие в настоящее время лабораторные тесты для выявления аутоантител к белку 64-К слишком дороги и сложны для широкого применения. Но сейчас мы, а также другие исследователи занимаемся расшифровкой аминокислотной последовательности белка 64-К. Когда эта работа будет закончена, появится возможность создавать простые тесты.

Пока что нет официально одобренных методов превентивной терапии больных, идентифицированных с помощью тестов на аутоантитела, но клинические испытания некоторых приемов дали многообещающие результаты. Так, например, у некоторых больных диабетом в период сразу после установления диагноза удалось сохранить еще жизнеспособные бета-клетки с помощью иммуносупрессирующих агентов — циклоспорина, стероидов и азатиоприна, которые вызывают сокращение общей численности Т-лимфоцитов или подавляют их активацию. Воодушевленные успехом, многие исследователи предлагают использовать такие препараты в экспериментальном порядке в качестве превентивного средства. Этот подход безусловно перспективен, но при всей его привлекательности нельзя упускать из виду и недостатки. Принимать иммуносупрессоры больному придется, по-видимому, неограниченно долго, а поскольку при этом подавляется иммунная система, увеличится риск инфекций и рака.

В будущем, когда удастся однозначно идентифицировать аутоанти-

ген, инициирующий диабет, и установить его структуру, возникнет возможность создать агенты избирательного действия, вызывающие элиминацию относительно небольшого числа определенных Т-лимфоцитов — тех, которые обладают рецепторами для аутоантигена, но не затрагивающие остальные клетки. Эту роль могут играть гибридные молекулы, состоящие из аутоантигена и присоединенного к нему токсина. Связывающие их аутореактивные Т-лимфоциты будут гибнуть. Такое лечение было бы безвредным для организма, поскольку элиминация ограниченного числа Т-лимфоцитов не скажется на общей иммунокомпетентности.

Еще 10 лет назад мало кто надеялся на скорое появление методов предотвращения инсулинзависимого диабета. А сейчас не вызывает сомнения, что самое большее через 10 лет исследования причин заболевания приведут к разработке превентивной терапии. Так должно быть. Коль скоро введение инсулина не предотвращает разрушительные последствия инсулинзависимого диабета, следует ликвидировать само заболевание.

Наука и общество

Накануне перемен

ДЕЙСТВИЕ фундаментальных экономических законов особенно отчетливо сейчас проявляется на границе между Восточной и Западной Европой. Там, где многие годы рынки были подчинены государству, начинают преобладать законы спроса и предложения.

В Западном Берлине, вдоль дороги, ведущей от Бранденбургских ворот, на километр выстроились автобусы из Польши. Молодые поляки, побывавшие в главном торговом районе Берлина, устремляются к этим автобусам, нагруженные коробками с надписями "Aiwa" и "Casio". Те, кто постарше, толкают впереди себя тележки, заполненные банками с абрикосами, апельсиновым соком или пивом. Вот он, неизменный закон спроса в действии! Почти не обращая внимания на цены, поляки покупают западные продукты. Многие намерены продать их у себя дома по более высоким ценам.

Действие также неизменного закона предложения (в данном случае — восточногерманских марок) проявляется на каждом углу близ центра города. Восточные немцы пытаются продать свою валюту почти

по любой цене. Западногерманская же марка "идет" по 3 и даже 4—6 восточногерманских марки. Последняя скоро обесценится, и это подстегивает восточных немцев продавать свою валюту. Как и 1 июля, банки будут обменивать западногерманские марки на восточногерманские, однако обмен "один к одному" будет ограничиваться суммой в 4000 восточногерманских марок на одного взрослого. (Пожилые люди смогут обменивать 6000 восточногерманских марок на льготных условиях.)

Погоня за западными товарами приводит к снижению спроса на товары восточноевропейские. Конечно, более высокое качество западноевропейских товаров оправдывает их стоимость. Например, жителей Восточной Европы больше не интересуют "Трабанты" — легковые автомобили с двухтактным двигателем, вредным для окружающей среды. Но в некоторых случаях трудно объяснить снижение спроса на восточноевропейские товары. Председатель одного из восточногерманских сельскохозяйственных кооперативов в 50 км от Берлина жалуется, что нет смысла отправлять выращенных ими свиней и коров на бойню. Никто не станет тратить восточногерманские марки на покупку

мяса. Однако эта проблема для кооператива временная.

Восточная Германия пытается преодолеть экономические последствия, обусловленные низкой отдачей от капиталовложений. Окупится ли западногерманская марка, потраченная на реконструкцию старого завода в Восточной Германии, в той же мере, что и марка, израсходованная на расширение какого-нибудь производства в самой Западной Германии? Вряд ли. Повсюду в восточноевропейских странах заводы переполнены давно устаревшим оборудованием и вредными отходами. В районе добычи бурого угля близ Лейпцига в воздухе постоянно ощущается запах серы. По оценкам одного из исследовательских институтов в Западном Берлине, промышленность Восточной Германии ежегодно терпит убытки в размере 30 млрд. западногерманских марок от загрязнения окружающей среды. Стране может потребоваться около 100 млрд. западногерманских марок только на то, чтобы очистить загрязненную грунтовую воду. Эта цифра может удвоиться, если правительство попытается сделать свои электростанции отвечающими стандартам по охране окружающей среды, принятым в западных странах.

Найти фонды для перестройки промышленной инфраструктуры будет трудно. Правительство Восточной Германии оценивает частные государственные накопления в 167 млрд. восточногерманских марок — примерно 10 тыс. марок на человека. Хотя часть этой суммы будет конвертирована в западногерманские марки, остаток ее будет израсходован на покупку западных товаров, что приведет к истощению объема накоплений.

Пока что Восточная Европа малопривлекательна для западного капитала. Находящиеся там предприятия оснащены устаревшим оборудованием, которое не отвечает современным требованиям по охране окружающей среды, и многие из них используют избыточную рабочую силу. Когда восточногерманская марка будет заменена западногерманской, зарплата рабочих и служащих Восточной Германии будет также конвертирована "один к одному" в западногерманские марки. Цены на продовольствие и жильё, прежде значительно субсидированные со стороны правительства, вероятно, повысятся втрое в условиях свободного рынка. Но в конце концов западные производители могут прийти к решению поставлять на восточноевропейский рынок свои товары, изготовленные на заводах Западной Германии.

Некоторые западные экономисты

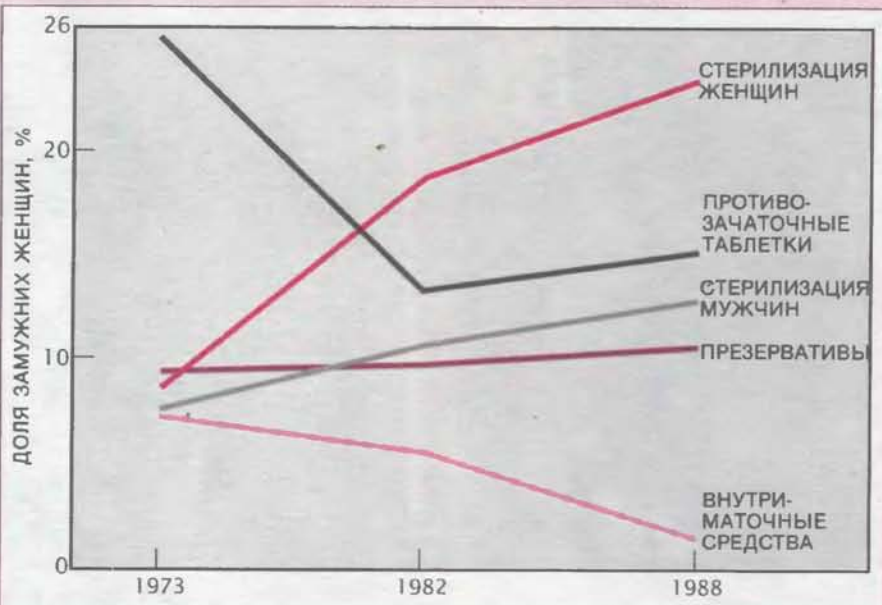
надеются на "рыночные силы", которые все же приведут в должное равновесие зарплату и цены в Восточной Германии. Другие же высказывают недовольство тем, что им придется нести расходы (вследствие более высоких налогов и инфляции), чтобы поддержать своих "бедных родственников". С притоком новых товаров жителям Восточной Германии, возможно, придется распрощаться со своей дорогостоящей системой социального обеспечения, а четырем мил-

лионам из них, вероятно, предстоит стать безработными в ходе объединения двух Германий.

Очевидно, что в Восточной Европе наступил закат экономических систем, основанных на централизованном планировании. Но, возможно, потребуются некоторое время, прежде чем резкий переход к капитализму в Восточной Германии приведет к улучшению уровня жизни ее населения.

Пол Уоллич, Берлин

В США все больше женщин для предохранения от беременности предпочитают стерилизацию



СТЕРИЛИЗАЦИЯ — в особенности женщин — становится способом контроля рождаемости среди состоящих в браке американцев. По данным анализа, проведенного Национальным центром статистики в области здравоохранения, почти четвертая часть замужних женщин в возрасте от 15 до 44 лет из всех доступных противозачаточных средств предпочитает стерилизацию.

Этот вывод основывается на результатах обследований 1973, 1982 и 1988 гг., охвативших 30 млн. замужних женщин детородного возраста. К 1988 г. среди них стерилизацию прошли 23,4%, что втрое превышает количество подвергшихся этой операции в 1973 г. Число мужчин, прошедших стерилизацию путем вазэктомии (иссечения семявыносящего протока), за этот период тоже увеличилось, но в значительно меньшей степени.

Несомненно, в контроле рождаемости на женщине лежит большее бремя ответственности. Но почему столь многие обращаются к стерилизации? У. Мошер, участвовавший в анализе результатов упомянутых обследований, отмечает, что три четверти американок к 30 годам имеют столько детей, сколько им хотелось. По достижении этого возраста возможности выбора противозачаточных средств сужаются и со временем все более ограничиваются. Многие врачи не рекомендуют пользоваться противозачаточными таблетками женщинам старше 35 лет, курящим, а также при определенных медицинских противопоказаниях. По соображениям безопасности резко сокращается применение внутриматочных противозачаточных средств.

Другие же способы предохранения от беременности, включая механические средства (презервативы, пенообразующие препараты, губки и проч.) и метод учета благоприятных для зачатия дней менструального цикла, безопаснее, но и гораздо менее надежны. А хирургическая стерилизация женщин стала в последнее время не такой рискованной процедурой, как прежде, и осуществляется сравнительно легко — в большинстве случаев пациентка может вернуться после операции домой в тот же день.

Тенденция к стерилизации, вероятно, сохранится. Одной из причин этого является, по мнению Мошера, то, что старение поколения «бэби-бума» (т. е. людей, родившихся в период всплеска рождаемости, начавшегося после второй мировой войны и закончившегося в середине 1960-х годов) все еще повышает средний детородный возраст как мужчин, так и женщин. Вторая причина, о которой недавно сообщила Национальная академия наук США, заключается в том, что различные политические, юридические и регламентирующие факторы препятствуют разработке более совершенных противозачаточных средств.

Новая космическая гонка

Элизабет Коркоран, Тим Бердсли



Осуществить запуск космического аппарата — задача, не такая уж сложная. Вопрос в том, чтобы путешествия на орбиту были экономически оправданными

ВЕЧЕРОМ 7 апреля крестьяне собрались на темнеющих склонах холмов, окружающих китайский космодром Хичанг, и ждали. На стартовой площадке, возвышаясь более чем на 43 м, находилась готовая к запуску ракета “Лонг-Марч 3”. С помощью своей ракеты китайцы собирались вывести на орбиту спутник связи “Азиасат-1”, изготовленный отделением космоса и связи компании Hughes.

Зрителям не пришлось долго ожидать. Действительно, сама процедура запуска — это, пожалуй, наиболее простой этап проекта. Китайские официальные лица уже пережили политическую бурю в Вашингтоне и получили специальное разрешение президента Буша запустить изготовленный в Америке спутник. В 21.30 “Лонг-Марч” взмыла вверх в восточном направлении и спустя 21 мин 27 с произошло отделение спутника. Через несколько недель спутник начал передавать информацию, транслировать телевизионные программы и осуществлять телефонную связь в странах юго-восточной Азии. Не менее важно то, что этот запуск позволил Китаю войти в число участников космического марафона 90-х годов.

Первый космический “забег” носил характер соревнования за лучшие технологические решения и достижения военной мощи. Сейчас бывшие военные ракеты стали коммерческими средствами доставки полезного груза в космос. Однако национальный престиж продолжает играть существенную роль в продолжающейся космической гонке, но теперь борьба идет за такие позиции, которые позволили бы контролировать будущие коммерческие возможности. Не менее шести государств соревнуются в своем стремлении перевести на коммерческую основу запуск грузов в космосе или по крайней мере стараются заработать на этом деньги. Но они сталкиваются с большой проблемой — “коммерческий космос” все еще является парадоксально звучащей антитезой.

Слишком мало заказчиков стремятся заполнить вакантные места в очереди на запуск. Единственное коммерческое мероприятие, которое мо-



Запуск ракеты “Ариан-4” с космодрома в Куру, Французская Гвиана.

гут осуществить частные компании, — это запуск спутников связи, хотя, согласно данным исследовательской компании Euroconsalt в Париже, годовые потребности в этой области в мире близки к насыщению и составят 15 запусков в год. Количество же предлагаемых запусков в этом году близко к 40. Положение осложняется и увеличением срока функционирования спутников за счет использования новых более долговечных компонентов. Кроме того, привлекательной альтернативой для связи на большие расстояния является использование оптоволоконных кабелей (исключая совсем удаленные районы, такие как Индонезия).

Несмотря на это, правительства полны решимости продолжать космическую гонку. Связь и спутниковая разведка стали определяющими факторами не только в обеспечении национальной безопасности, но и в поддержании государственной экономики. Кроме того, нельзя не считать и с таким понятием, как национальная гордость. «Мы стоим перед выбором, — говорит Д. Бромлей, советник президента Буша по науке и член Национального совета по космосу, — либо мы будем играть ведущую роль в этой новой области, либо останемся позади».

Итак государства обращаются к

коммерции с целью стимулирования своих возможностей по запуску. Новые рынки заключают в себе благоприятную перспективу, хотя это еще не совсем очевидно. Они будут включать спутники прямого телевизионного вещания и навигационные спутники. Военные ведомства разрабатывают «лайтсаты» — маленькие, спутники, весящие несколько сот килограммов и способные заменить в случае необходимости поврежденные системы. Они также могут быть использованы для гражданской связи.

Существует также призрачная цель организации производства в космосе. Наибольшие надежды связываются с экспериментами, проводимыми на орбите исследователями и небольшими компаниями. В течение десяти лет или около этого и при достаточном количестве экспериментов некоторые из них могут подтвердить прибыльность производства в условиях микрогравитации.

В других странах правительства в целях финансирования космических программ прибегают к помощи промышленных фирм. Европейские страны, особенно ФРГ и Италия, последовательно проводят эксперименты в условиях микрогравитации. То же можно сказать и о Японии. Советский Союз со своим арсеналом надежных ракет-носителей, станций «Мир» и

спускаемыми аппаратами для возвращения продуктов экспериментов из космоса обладает наиболее развитой космической инфраструктурой.

В США крупнейшие в мире компании, специализирующиеся на производстве ракет, ждут указаний от правительства. Крупные корпорации воздерживаются от экспериментов в космосе, так как их расчеты показывают, что риск слишком велик. В результате, более предпочтительными представляются малые компании, стремящиеся найти свое место в космических программах. И они постигают урок, который еще предстоит усвоить крупным компаниям: организация бизнеса по запуску означает предоставление услуг, а не просто создание техники. «Нельзя создать машину из металла, прибавить 10 процентов к понесенным затратам и назвать это бизнесом», — говорит Ч. Чефер, который помог основать в 1980 г. компанию Space Services в Хьюстоне, шт. Техас.

НАСА упускает возможности

К сожалению, наклеивание ярлыка с ценой на кусок металла было в течение десятилетий основным методом ведения бизнеса в области космоса. В 70-е годы у любой компании в мире,

ПЕРВЫЕ ЗАПУСКИ БЕСПИЛОТНЫХ РАКЕТ И СПУТНИКОВ

ГРУЗ, ВЫВОДИМЫЙ НА ГЕОСТАЦИОНАРНУЮ ОРБИТУ	ГРУЗ, ВЫВОДИМЫЙ НА НИЗКУЮ ЗЕМНУЮ ОРБИТУ	РАКЕТА-НОСИТЕЛЬ	ПРЕДЛАГАЕТСЯ ДЛЯ КОММЕРЧЕСКИХ ЗАПУСКОВ	ГОД СТРАНА
«СПУТНИК-1»		А(СЛ-1)		1957 СССР
СПУТНИК «ЭКСПЛОРЕР-1»		«ДЖУНО-1»		1958 США
Радиовещательная установка	4 730 КГ	«АТЛАС-СКОР»		1958 США
спутник «МОЛНИЯ»		«ВОСТОК»	×	1959 СССР
	215 КГ	«МОЛНИЯ»	×	1960 СССР
семейство «ДЕЛЬТА»		«СКАУТ»	×	1960 США
спутник связи «ТЕЛСТАР-1»		«ДЕЛЬТА»		1960 США
семейство «АТЛАС»		«ТОР-ДЕЛЬТА»		1962 США
7 240 КГ		«АТЛАС-ЦЕНТАВР»		1962 США
1 350 КГ		«СОЮЗ»	×	1963 СССР
семейство «ТИТАН»		«КОСМОС»		1964 СССР
геостационарный спутник «ЭРЛИ БЕД»		«ТИТАН-III»		1964 США
спутник связи «МОЛНИЯ-1А»		«ТОР-ДЕЛЬТА»		1965 США
«АСТЕРИК»		«МОЛНИЯ»	×	1965 СССР
20 600 КГ		«ДИАМАНТ»		1965 ФРАНЦИЯ
2 100 КГ		«ПРОТОН»	×	1968 СССР
«ПРОСПЕРО»		«БЛЕК-ЭРРОУ»		1969 АНГЛИЯ
«ОХСУМИ»		«ЛЯМДА-4С»		1970 ЯПОНИЯ
«ЧАЙНА-1»		«ЛОНГ-МАРЧ 1»		1970 КИТАЙ
спутник дистанционного зондирования Земли ЛЭНДСАТ-1		«ДЕЛЬТА»		1972 США
4 000 КГ		«ЦИКЛОН»	×	1977 СССР
семейство «АРИАН»		«АРИАН-1»		1979 ЕКА
«РОХИНИ»		«РОХИНИ»		1980 ИНДИЯ

желающей запустить коммерческий груз, был один выбор: прибегнуть к услугам Национального управления по авиации и исследованию космического пространства. США предлагали выбор из четырех типов носителей: тяжелые "Титаны" (изготавливаемые Martin Marietta), "Дельта" (McDonnell Douglas), "Атлас" (General Dynamics) среднего класса и совсем маленькие ракеты типа "Скаут" (производства LTV Aerospace and Defence Company). Компании-подрядчики изготавливали ракеты, НАСА же выступало в роли посредника и управляло запусками.

Затем НАСА попыталось заменить эти одноразовые ракеты космическим челноком (шаттлом). Аргументировалось тем, что переход к средствам многоразового использования позволит снизить затраты на доставку полезного груза в космос. (Это оказалось верным лишь в случае субсидирования запусков; согласно оценкам, стоимость одного запуска шаттла сегодня обходится более чем в 350 млн. долл.) В результате, коммерческие и почти все военные спутники запускались с помощью шаттлов. Однако осуществление коммерческих запусков было сопряжено с рядом проблем для НАСА. Запуски часто откладывались, что нарушало планы тех, кому принадлежали спутники.

Это привело к тому, что многие изготовители спутников начали рассматривать в качестве альтернативы европейскую ракету "Ариан-1". Основатели Agianespace, созданной в 1980 г., выбрали деловой подход с самого начала. Они предусмотрительно избавили чиновников Европейского космического агентства (ЕКА) от повседневной деятельности, связанной с производством и запуском ракет. Agianespace помогала заказчикам в организации финансирования полетов. К концу 1985 г. эта компания уже имела примерно половину всех контрактов на запуск спутников. "НАСА обращается со своими клиентами как помещик, принимающий на своей земле крестьян, — утверждает Ч. Бигот, управляющий директор Арианспейс. — Agianespace обходится с ними как купец".

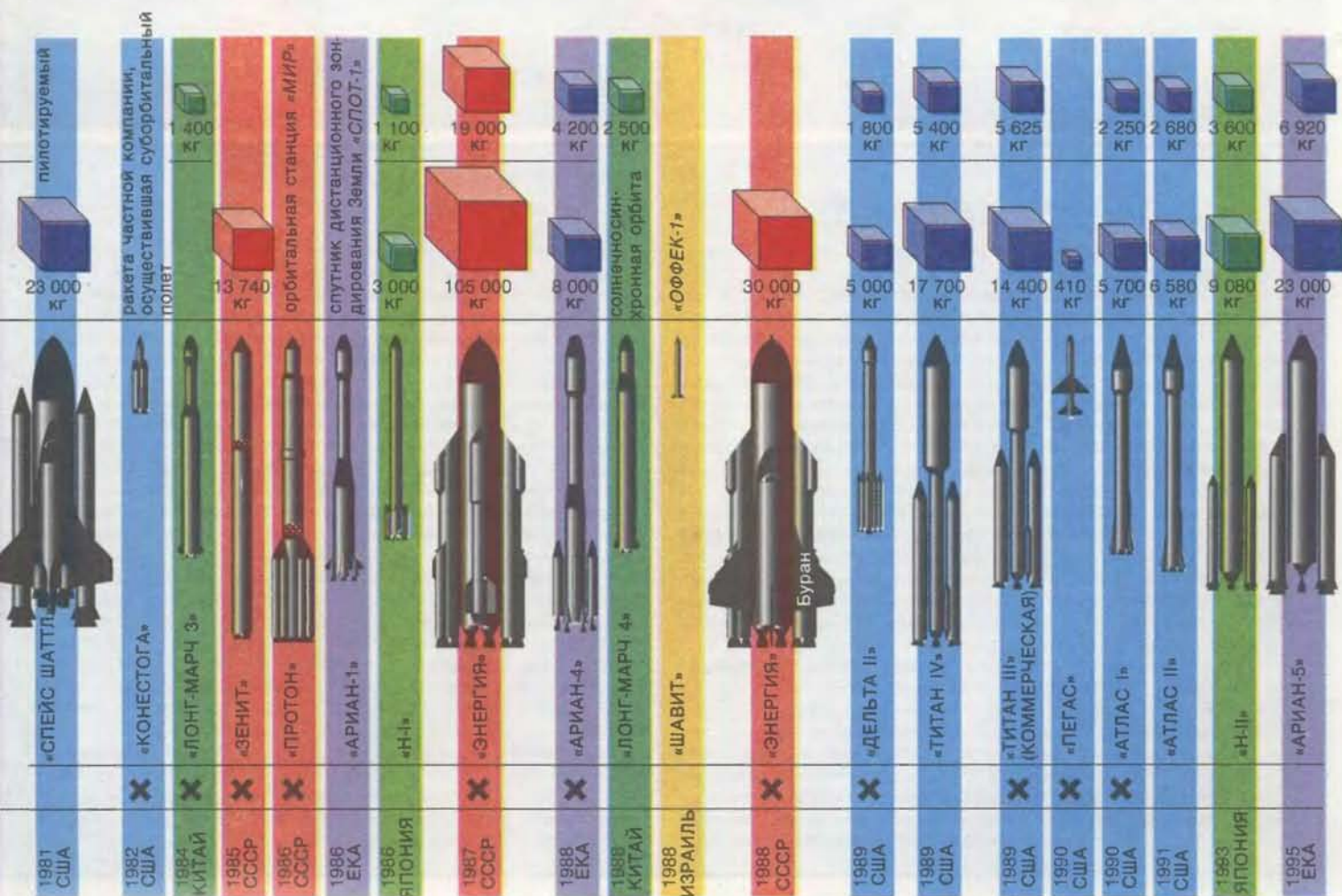
Несмотря на то что администрация Рейгана призывала американских производителей ракет бороться за коммерческие контракты, желающих на использование шаттла не находилось. Взрыв "Челленджера" в 1986 г. изменил ситуацию; правительство США впоследствии согласилось отстранить НАСА от запуска коммерческих объектов. Но американцы столкнулись с жесткой конкуренцией. Agianespace уже завоевала репутацию и неуклонно улучшала свои носители.

ЕКА взяло на себя значительные затраты, связанные с разработкой новых технологий. Agianespace покрывала свои текущие затраты доходом, получаемым от запуска спутников (чтобы не быть в убытке, компании необходимо заключать 6—7 контрактов в год).

Время не способствует конкурентоспособности американских ракетных компаний. Правительство продолжает испытывать затруднения с определением того, что оно понимает под "коммерческой" ракетной промышленностью. Противоположные интересы различных федеральных ведомств составляют космическую политику США. Военные, желающие поддерживать смешанный арсенал ракет, уже заключили достаточное количество контрактов для поддержания жизнедеятельности трех крупных ракетных компаний в течение следующих пяти лет. Но наличие этих контрактов, возможно, снизит интерес компаний к поиску коммерческих соглашений.

Неоднозначное толкование

"Большинство наших клиентов обращаются к нам повторно после того, как они размещали свои грузы на борту ракеты "Дельта", когда НАСА управляло запусками", — говорит С. Михара, директор по вопросам



маркетинга ракет "Дельта" компании McDonnell Douglas. По его словам, положение дел будет удовлетворительным, если они будут иметь один коммерческий запуск в год. Если больше одного — дела будут обстоять хорошо. Martin Marietta заключила 42 контракта на запуск ракет-носителей "Титан" вплоть до середины 90-х годов, причем 41 из них связан с

доставкой грузов ВВС и лишь один предусматривает запуск зонда "Марс Обсервер" по программе НАСА. Некоторые представители промышленности считают, что Marietta может совершенно выпасть из коммерческого рынка — слух, который сама компания отвергает.

Различное толкование смысла нового вида деятельности не помогло

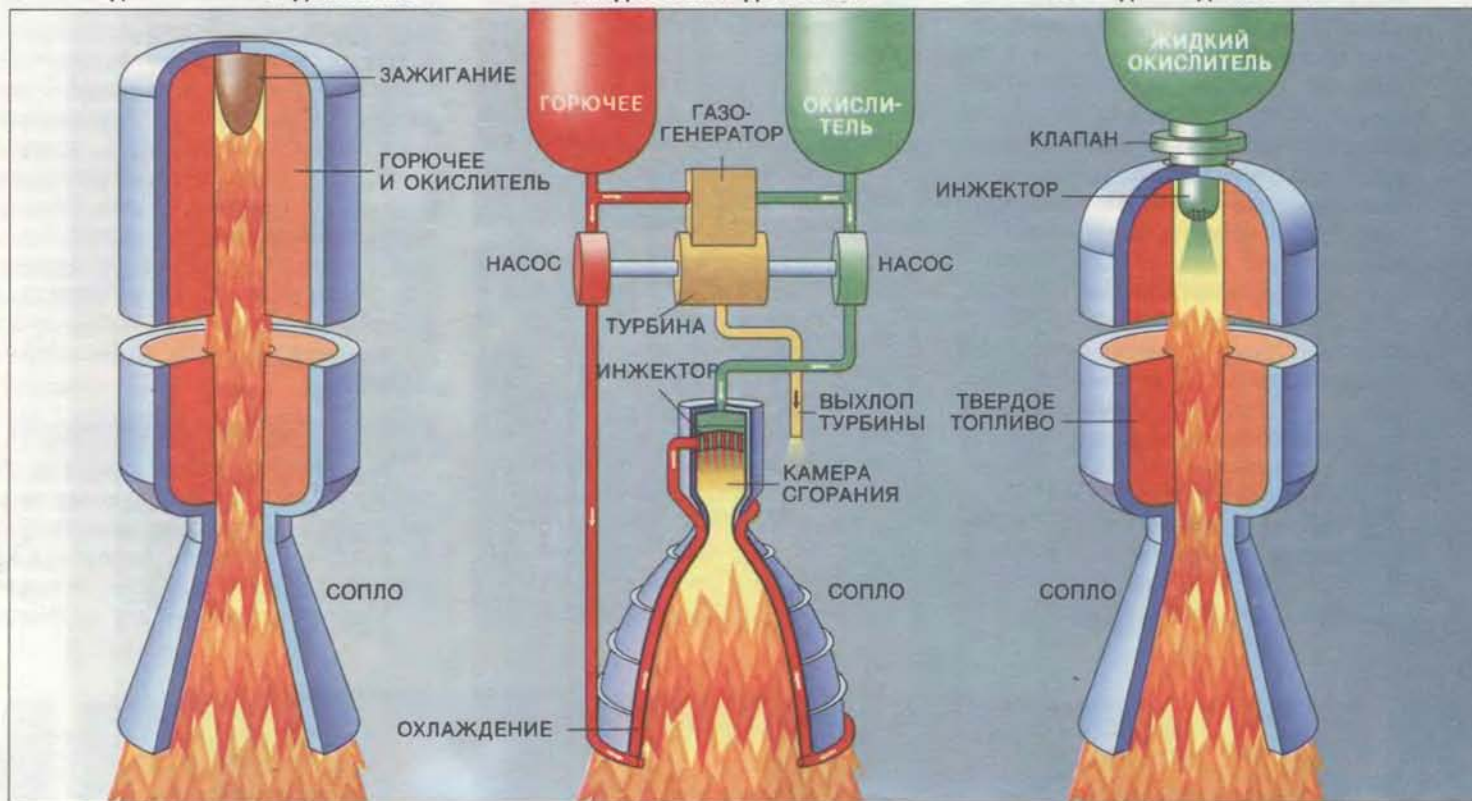
традиционным подрядчикам в аэрокосмической области приспособиться к своей новой роли. "До сегодняшнего дня я все еще не уяснил, что это такое коммерческий космос, черт бы его побрал", — сказал Дж. Уайтло, управляющий LTV.

Крупные американские компании также не желают оказывать существенную поддержку новым фирмам,

ТВЕРДОТОПЛИВНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

ЖИДКОСТНОЙ ДВИГАТЕЛЬ

ГИБРИДНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ



Двигатели для ракет ...

Как и реактивные самолеты, ракеты на химических двигателях приводятся в движение горячими газами, образующимися при сгорании топлива. Но в отличие от самолетов, потребляющих кислород воздуха, ракеты несут на борту окислитель, благодаря чему они могут летать за пределами земной атмосферы. Ключевой задачей при проектировании ракет является создание двигателей, создающих максимальное и длительное тяговое усилие при сжигании минимального количества топлива. Отношение тяги к количеству потребляемого топлива инженеры называют удельным импульсом.

Самым простым ракетным двигателем, обладающим, как правило, наименьшим удельным импульсом, является твердотопливный двигатель. Он состоит из полого цилиндра из топлива, представляющего собой смесь горючего и окислителя на каучуковой основе, такого как перхлорат аммония. Хотя твердотопливные двигатели весьма надежны, после зажигания топлива оно горит как гигантский фейерверк, и его сложно потушить.

Жидкостные ракеты обладают большим удельным импульсом, но отличаются более сложной конструкцией и высокой стоимостью. Горючее и окислитель, находящиеся в разных баках, нужно быстро перекачивать в камеру сгорания либо разбрызгивать в ней. Регулирование тяги или ее выключение осуществляется путем управления подачей топлива. Одной из наиболее распространенных комбинаций жидкого горючего и окислителя являются несимметричный диметилгидразин и четырехокись азота, возгорающиеся при смешивании. Использование жидкого кислорода и жидкого

водорода обеспечивает еще больший удельный импульс, но эти компоненты опасны и сложны в обращении.

В семействе жидкостных ракет есть несколько разновидностей. В одной из конструкций горючее, циркулирующее в каналах стенок сопла, приводит в действие насосы горючего и окислителя. В сопле топливо подогревается и создается давление, достаточное для работы турбины, вращающей насосы. В жидкостном кислородно-водородном двигателе первой ступени "Ариан-5" будет использоваться газогенератор — закрытая камера, где за счет сжигания небольшого количества горючего и окислителя образуются продукты сгорания под высоким давлением; они то и будут приводить в движение насосы.

Двигатель "LE-7", разработанный в Японии, аналогичен главному двигателю "Спейсшаттла". Это жидкостный двигатель поэтапного сгорания. Часть водорода сжигается в камере предварительного сгорания с подачей небольшого количества кислорода. Горячие продукты сгорания вращают турбины насоса. Затем продукты сгорания с большим содержанием несоединенного водорода подаются в главную камеру сгорания, где они с подачей дополнительного количества жидкого кислорода сжигаются окончательно.

В гибридных двигателях используется топливо на каучуковой основе, аналогичное используемому в твердотопливных ракетах. Но окислитель, обычно жидкий кислород, распыляется вниз по центральному каналу топливного цилиндра. Топливо, как и в твердотопливной ракете, выгорает из центра к периферии.

Теоретически гибридные двигатели имеют много преимуществ: их можно выключать и у них больший удельный импульс, чем у твердотопливных двигателей. Но пока кроме радиоуправляемых ракет ВВС и опытных экземпляров ракет-носителей гибридные двигатели нигде не применялись.

пожелавшим заняться космическими запусками. "Крупные американские аэрокосмические компании до сих пор не играли значительной роли в стратегическом инвестировании новых коммерческих космических проектов", — сказано в последнем отчете министерства финансов.

Таким образом, даже малые американские компании, планирующие

космические проекты, ищут финансирования за рубежом, Компания SPACENAV в Вашингтоне, создающая модуль для полета на шаттле, нашла желающих финансировать их проект в Японии. Компания Geostar также в Вашингтоне, разрабатывающая спутниковую систему слежения для грузовиков и железнодорожного транспорта, тоже надеется на под-

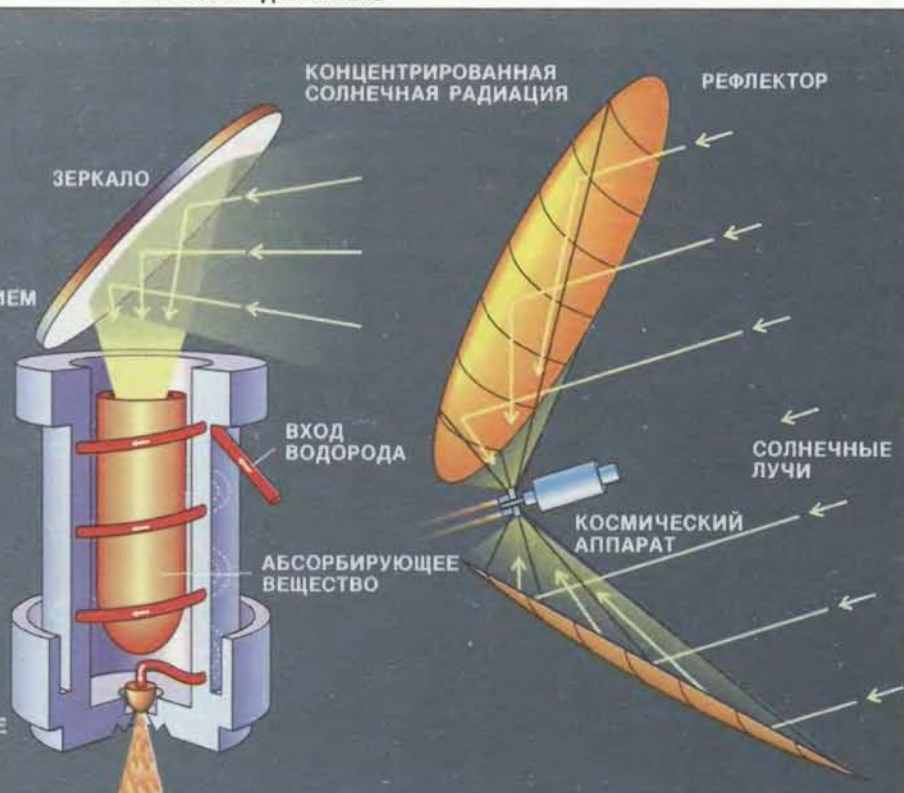
держку японских и французских инвесторов.

Тем временем другие страны решили, что коммерческие запуски могут пополнить их космические бюджеты или увеличить приток твердой валюты. Так, СССР и Китай обхаживают сейчас заказчиков коммерческих спутников, используя проверенную тактику капиталистов — низкие цены и

ЯДЕРНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ



СОЛНЕЧНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ



... и космических аппаратов

После вывода объектов на орбиту они должны маневрировать. Небольшие двигатели поддерживают спутник на орбите. Другие двигательные установки применяются для перевода спутника на геостационарную орбиту или на траекторию полета к удаленным объектам.

В отсутствие земного притяжения достаточно небольшой тяги. Но такие двигатели должны иметь большой удельный импульс. В двигателях коррекции орбиты горючее подогревается и затем истекает из сопла. Чем выше температура газа, тем больше скорость истечения и удельный импульс. В модернизированном двигателе "аркджет" применяется электрическая дуга для подогрева истекающего газа до нескольких тысяч градусов. Увеличение удельного импульса может продлить существование спутника на несколько лет. На спутнике "Телстар-4" компании GE Astro-Space, запуск которого намечен на июнь 1993 г., будет впервые использован "аркджет".

Новый интерес к посылке людей на Марс заставил НАСА еще раз обратиться к ядерным двигателям, обеспечивающим большой удельный импульс и сокращение времени экспедиции на две трети. Два конструктивных варианта заслуживают рассмотрения. В первом для получения тяги газ (например, водород) подогревается ядерным реактором. В конце 60-х годов НАСА изготовило и провело огневые испытания такой ракеты, названной НЕРВА. В другой конструкции реактор вырабатывает электроэнергию для функционирования электродвигателя ионного типа.

Ионный двигатель, работающий на принципе ускорения ионов в электростатическом поле, был впервые испытан 20 лет назад.

Японские специалисты собираются установить ионный двигатель на спутнике "ETS-6", запуск которого намечен на 1994 г. В другом типе электродвигателя, называемом магнитоплазменным, для ускорения ионизованного газа используется магнитное поле. В Советском Союзе был проведен ряд летных испытаний двигателей, построенных на основе этой технологии. Результаты показали, что наибольшая эффективность работы двигателя достигается при больших мощностях.

Для маневрирования вблизи Земли ВВС США изучают возможность использования легкой тяговой системы на солнечной энергии. Рефлекторы диаметром 120 м фокусируют солнечные лучи и нагревают устройства тяги до температур более 3500°C. Они в свою очередь нагревают водород, и в результате возникает слабая тяга. Для перевода спутника с низкой орбиты на геостационарную может потребоваться около 40 дней, поэтому этот метод приемлем для спутников, не требующих срочных маневров. Но, поскольку двигатель имеет небольшой вес, для выведения спутника в космос может быть использован менее мощный носитель, например "Дельта" вместо "Титана"; экономия в этом случае составит 50 млн. долл.

В перспективе могут найти применение и другие концепции. Одна из них основана на использовании энергии связи атомов в молекулах водорода. При соединении расщепленных молекул водорода выделяется огромная энергия. Если удастся разделить 15% молекул водорода и хранить их на борту в виде атомов, может быть решена задача использования в качестве топлива атомарного водорода. Другой проект предполагает использование энергии лазера в двигательной системе космического корабля. Не исключено, что когда-нибудь ракета взлетит в космос на столбе лазерного пучка. Ряд исследователей рассматривают возможность создания двигателей с использованием антивещества.

вежливое обслуживание. При заключении контрактов эти страны больше обеспокоены преодолением политических барьеров, нежели отказами при запуске.

Вначале Советский Союз пытался привлечь заказчиков на запуск коммерческих спутников низкими ценами. Его предложения были отвергнуты. Сейчас Главкосмос, организация, занимающаяся маркетингом космических услуг, усовершенствовал свою тактику. СССР надеется, что разнообразие ракет-носителей и развитая космическая инфраструктура привлекут заказчиков. Главкосмос добился определенного успеха. INTOSPACE в Ганovere (ФРГ) и Payload Systems в Кембридже (шт. Массачусетс) разместили свои средства для проведения

экспериментов на советских космических аппаратах.

Китайцы в то же время все еще продолжают предлагать демпинговые цены, что, очевидно, нарушает их договоренность с США предоставлять услуги по ценам, сравнимым с предлагаемыми Западом. "Сумма последней сделки на запуск спутника связи "Арабсат" составляет примерно половину того, что мы или McDonnell Douglas запросили бы за это", — утверждает Д. Хейдон, президент американского филиала Agianespace.

И вот появляется еще один конкурент — Япония. Ее Национальное космическое агентство (НАСДА) контролирует небольшую, но быстро развивающуюся программу с 1969 г. В 70-х годах в обмен на американскую

ракетную технологию Япония согласилась запускать только японские грузы. Но новый носитель "Н-11", первый запуск которого намечен на 1993 г., основан целиком на японском проекте. Это позволит японцам запускать иностранные спутники.

Хотя официальные лица в Японии утверждают, что интерес их страны в развитии коммерческой программы по созданию носителя "Н-11" незначителен, 13 участников контракта на разработку "Н-11" во главе с Mitsubishi должны были организовать в конце июля новую компанию для разработки ракеты для НАСДА. "Япония начала разработку "Н-11", имея в виду возможность коммерческих запусков в будущем", — заявил Койти Сато, сотрудник отдела Mitsubishi по координации деятельности новой компании.

Имеется, однако, ряд проблем. Рыбаки, плавающие около космического центра в Танегашима, убедили правительство ограничить запуск ракет двумя 45-дневными периодами в год, поэтому Япония с интересом следит за созданием коммерческого космодрома в Австралии. Более того, повышение курса йены способствовало тому, что оцениваемая стоимость запуска "Н-11" оказалась вне конкуренции. "Если затраты не удастся снизить, то компании не могут рассчитывать на большой успех и им остается лишь продавать технику правительству", — говорит Сато.

Однако частичное снижение цен на запуск в ближайшем будущем не повлияет на утрату интереса частного сектора к предпринимательской деятельности в космосе. Это просто снизит начальные расходы у имеющих заказчиков. "Без реальной практической заинтересованности никто не отправится в космос ни за какие деньги", — утверждает А. Вилон, бывший главный администратор Hughes Aircraft. Дорогие носители покупаются только правительствами и коммерческими спутниковыми компаниями. В 1988 г. правительство США израсходовало около 25 млрд. долл. на производство космической техники и оказание услуг. В том же году коммерческий сектор потратил около 1,8 млрд. долл. (и 2,7 млрд. в 1989 г.), более 90% которых связано с разработкой и запуском спутников связи.

Исходя из позиции компаний, большинство космических проектов должны быть прибыльными, причем доходы должны по крайней мере в два раза превосходить затраты, учиты-



Запуск японской ракеты "Н-1" с космодрома космического центра Танегашима.

вая значительный риск предприятия. В феврале, например, из-за аварии "Ариан-4" в океане затонули два японских спутника стоимостью 160 млн. долл. В марте коммерческий "Титан" вывел спутник "Интелсат-6" стоимостью 150 млн. долл. на нерабочую орбиту. А вот взгляд на космос с финансовой точки зрения преуспевающей фирмы Spacenet Corporation в Маклине, шт. Виргиния. Для замены трех ее стареющих спутников GTE выделила почти 200 млн. долл. на изготовление новых, не меньше 210 млн. на их запуск и еще 70 млн. на страхование. Таким образом, затраты GTE на один запуск составят примерно 160 млн. долл. В то же время GTE ожидает, что спутники окупят себя менее чем за три года и будут приносить доход в течение еще семи лет.

Владельцы спутников, вне всякого сомнения, будут ориентироваться на самые дешевые, но столь же надежные запуски. "Если вы глава американской спутниковой компании и выбираете между запуском с мыса Канаверал, который вам обойдется в 80 млн. долл., и услугами "Великой Стены" [китайская государственная компания по запускам], заплатив за это 15 млн. долл., то вы предпочитаете второй вариант, и взяв 15 млн. долл., отправляетесь в Китай, — говорит Дж. Аллен, президент Space Industries International в Вебстере, шт. Техас, бывший астронавт. — Это вне сомнений".

Как обеспечить прибыль

Даже в этом случае цены не достаточно низки, чтобы превратить и другие космические проекты в прибыльные предприятия. "Дистанционное зондирование, например, — это хороший способ потерять деньги, клянусь", — говорит Дж. Пайк, занимающийся анализом космической политики в Федерации американских ученых. Ни американская программа "Ландсат", ни французская "Спот-Имаж" не являются самостоятельным бизнесом. Самая крупная на ближайшие несколько лет программа в области дистанционного зондирования будет финансироваться НАСА.

Хотя интерес компаний к организации производства в космосе возник в начале 80-х годов, он угас из-за нерегулярности запусков, а также новых, значительно более дешевых технологий для выполнения аналогичных работ, но в наземных условиях. "Было много преувеличений", — вспоминает Э. Кук, руководящий научными космическими исследованиями в компании 3М. Она остается одной из немногих крупных американских компаний, все еще проводящих свои эксперименты на борту шаттла. Причем

НАСА не берет деньги за их установку на борту.

"Это плохо, что спутники связи имели быстрый успех, — говорит Х. Стивен, советник по науке бывший президент Никсона и Форда. — Это сформировало неверное представление. Люди стали думать, что, видимо, там наверху много "золотых самородков". Возможно, они там действительно есть, но мы еще не научились извлекать из них достаточно прибыли, чтобы окупать космические полеты".

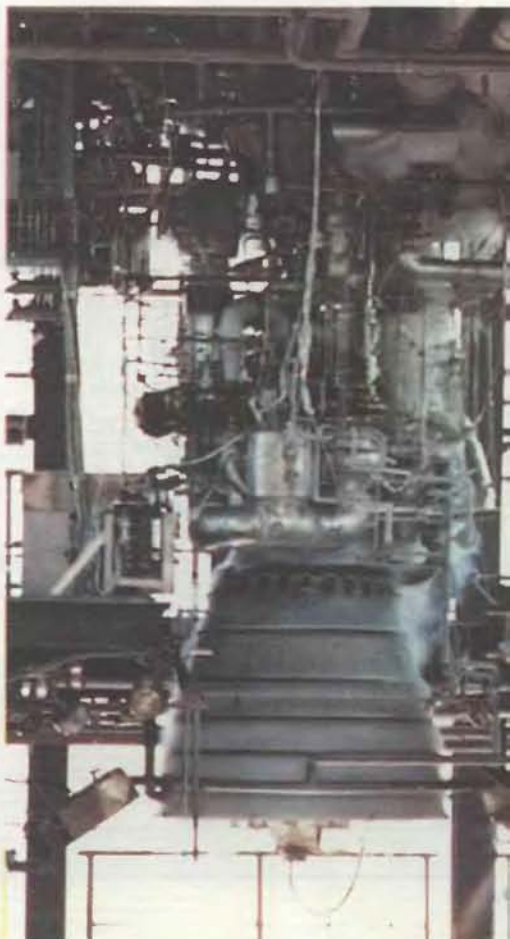
Итак, национальные цели в космосе продолжат стимулировать развитие ракетной технологии. В следующие несколько десятилетий гигантские государственные проекты — запуск орбитальных свободноплетающих платформ (на которые будут время от времени запускаться астронавты), пилотируемой космической станции и, возможно, полеты на Луну и на Марс — потребуют транспортировки значительного количества грузов на околоземные орбиты. Поэтому некоторые ракетные фирмы стараются увеличить вес полезной нагрузки и снизить затраты на запуск ракет-носителей следующего поколения. Разработка Agianespace "Ариан-5", нового носителя, является, возможно, наиболее впечатляющим проектом. Первый запуск этой ракеты намечен на 1995 г. Она будет иметь две ступени, двигательную установку на жидком кислороде и жидком водороде и твердотопливные ускорители. Это позволит "Ариан-5" выводить на геостационарную орбиту грузы в 1,5 раза тяжелее, чем ракеты предшествующего поколения. Грузовой отсек второй ступени "Ариан-5" может быть заменен пилотируемым кораблем "Гермес".

Хотя Agianespace в значительной степени использует уже зарекомендовавшие себя технологии, в конструкции "Ариан-5" все же включено много нового. Сопла твердотопливных ускорителей изготовлены из углерод-углерода — композиционного материала, получаемого путем спекания переплетенных углеродных волокон, смоченных смолами. Продолжаются испытания сопел жидкостного двигателя на основе карбида кремния и углерода. Для снижения эксплуатационных расходов Agianespace планирует создать мобильную наземную систему управления, которая сократит время между запусками и снизит количество обслуживающего персонала. По словам сотрудника Agianespace Хейдона, в результате эксплуата-

онные расходы, связанные с запуском ракеты "Ариан-5", могут составить лишь 85% аналогичных расходов на запуск "Ариан-4", т. е. примерно 12—15 тыс. долл. на килограмм.

В японской ракете "Н-II" будет использоваться сложный жидкостной кислородно-водородный двигатель LE-7. "Двигатель LE-7 очень эффективен, но его изготовление весьма сложно", — признает Масафуми Миязава, руководитель группы НАСА по ракетным двигателям. Две аварии при испытаниях двигателей в прошлом году вызвали задержку на 12 месяцев в графике выпуска "Н-II". Тем не менее Япония добилась успеха в создании высоконадежного двигателя второй ступени — LE-5A, который может быть повторно запущен на орбите. Затраты на создание "Н-II" составят более 250 млрд. йен (1,7 млрд. долл.), из которых 470 млн. долл. придется на LE-7.

В США перспективы в области разработки ракет-носителей выглядят более мрачными. По словам Дж. Логдона, специалиста из Университета Джорджа Вашингтона, США, долгое время лидировавшие в темпах обновления ракетной техники в период с 1972 по 1986 г., не вложили практически ничего в разработку других перспективных ракетных двигательных систем и систем запуска, делая ставку на использование шаттлов. Ассоциация космической промышленности пытается изменить положе-



Запуск японского двигателя "LE-7" первой ступени ракеты-носителя "Н-II".

ние, предлагая федеральному правительству израсходовать в течение 10 лет 5,5 млрд. долл. на финансирование исследовательских программ в области ракетной техники и приводя в качестве аргумента доминирование других стран на рынке носителей.

Исследования США в области создания новых материалов для космической техники направлены на удовлетворение потребностей, связанных с созданием национального аэрокосмического самолета (НАСП), летательного аппарата, который будет взлетать и приземляться как самолет, развивать скорость, в 25 раз превышающую скорость звука, и выходить

на орбиту. Вряд ли первый его экземпляр будет создан до 2000 г. Тем не менее НАСА надеется, что разрабатываемые для этого самолета новые материалы смогут быть использованы в ракетных двигателях. Они включают медь, усиленную графитовыми волокнами, вольфрам или ниобий для узлов, где требуется высокая теплопроводность. Для усиления керамических материалов используются волокна карбида кремния, нитрида кремния и окиси алюминия. К числу новых относятся также керамические материалы на основе циркония и гафния, отличающиеся повышенной теплостойкостью.

До недавних пор основной американской программой в области ракетной технологии был проект современной ракетной системы АЛС, предложенной Организацией стратегической оборонной инициативы. По замыслу АЛС должна была включать серию надежных ракет-носителей, позволяющих выводить на орбиту грузы массой до 200 т при стоимости 660 долл. за килограмм. Программу намечалось осуществить до конца 90-х годов, а затраты на нее должны были составить до 12 млрд. долл. Однако программа была подвергнута серьезной критике как слишком амбициозная, дорогая и ненужная. В декабре

NEED A RIDE ?



KOSMOS VOSTOK MOLNIYA SOYUZ PROTON ENERGIYA-BURAN ENERGIYA TSYKLON

GLAVKOSMOS GLAVKOSMOS
SCC
 SPACE COMMERCE CORPORATION

FOR MORE INFORMATION PLEASE CONTACT: THE SPACE COMMERCE CORPORATION 89-TH FLOOR TEXAS COMMERCE TOWER HOUSTON, TEXAS 77002 USA TELEPHONE (713) 827-9008 FAX (713) 827-9008 TELEX 910-240-9191

«ВАС подвезти?» — гласит плакат. Тогда позвоните А. Дунаеву. Он руководит Главкосмосом, советской гражданской космической организацией, из временного офиса, расположенного в невзрачном 12-этажном жилом доме в Москве.

Почему Дунаев, возглавляющий одно из наиболее уважаемых учреждений в СССР, мирится с такими незавидными условиями? «В Советском Союзе, — объясняет один из работников Главкосмоса, — проще построить стартовую площадку, чем подыскать подходящий офис».

В течение последних десяти лет СССР запуская примерно по 90 ракет ежегодно. Советские заводы выпускают ракеты-носители с такой эффективностью, которой позавидовал бы Генри Форд. После 1300 запусков ракеты «Союз» и 117 более мощной ракеты «Протон» советские носители стали самыми дешевыми и надежными в мире. «СССР до сих пор выпускает носители того же типа, который использовался для запуска спутника в 1957 г.», — говорит Ф. Кларк, специалист по ракетной технике из Commercial Space Technology в Лондоне.

Сейчас советские руководители надеются нажить капитал на этих ракетах, чтобы подстегнуть свою вялую экономику. Главкосмос начал предлагать западным странам услуги по запуску всего за 25 млн. долл. за каждый — совсем дешево по сравнению с 70—100 млн. долл. за использование западных ракет аналогичного класса. В СССР считают, что они могут осуществлять до 10 запусков иностранных объектов в год. Кроме того, Главкосмос предлагает использовать станцию «Мир», которой уже 4 года, и услуги космонавтов, накопивших за 16 человеко-лет немалый опыт в проведении экспериментов в космосе.

Но в завоевании западных клиентов СССР сталкивается с серьезными трудностями. Торговые ограничения США препятствуют поставкам в Советский Союз изделий высоких технологий. В 1987 г. Главкосмос потерял контракт на запуск спутника компании Hughes, так как ей было отказано в экспортной лицензии. Hughes не стал комментировать этот случай. Недавно по этой же причине были сорваны переговоры с Индией. Хотя Главкосмос уже вывел на орбиту несколько экспериментальных установок по заказу западных фирм, эксперты утверждают, что при нынешних торговых законах лишь технологически примитивные устройства смогут получить разрешение.

Дунаев, откинувшись в кресле с скрещенными на животе руками и усмешкой на тонких губах, видит причину эмбарго в конку-

прошлого года под давлением конгресса, настаивавшего на сокращении бюджета программы, ВВС прекратили работы над проектом.

Новые элементы на старые ракеты.

Проект АЛС имел своей целью снижение стоимости запусков за счет разработки простых в изготовлении компонентов и более широкого использования автоматизации в системах контроля. Martin Marietta разрабатывает новые баки для жидкого кислорода и жидкого водорода из сплава алюми-

ния с литием, которые могут быть изготовлены литьем или выдавливанием, а не фрезерованием. Изготовленные по такой технологии баки можно использовать в будущих конструкциях "Титана". Компания Rocketdyne разработала насос подачи топлива только с одним сварным швом, в то время как на шаттле аналогичный насос имеет 150 таких швов.

Правительство также надеялось, что подрядчики контракта на изготовление системы АЛС применят эти достижения в производстве выпускаемых ими носителей. В какой-то мере они это делают. По словам представителей Martin Marietta, разработан-

ные для АЛС технические решения позволят снизить цены на запуск "Титана 4" на одну треть и довести ее до 4400 долл. за килограмм. Однако, по мнению инженеров, за счет использования новых элементов в старых носителях можно достичь лишь ограниченного эффекта.

Хотя в целом от проекта АЛС пришлось отказаться, НАСА и министерство обороны все же выделили 107 млн. долл. на 1990 финансовый год ракетным фирмам Aerojet и Rocketdyne для разработки опытного образца двигателя. По словам заместителя администратора НАСА Дж. Томпсона, предполагается, что новый двигатель "будет дешевым и способным работать на жидком кислороде и водороде". Но, поскольку, ежегодное финансирование работ осуществляется конгрессом, будущее проекта остается неясным.

Вместо разработки новой конструкции ракеты-носителя НАСА без особого энтузиазма изучает возможность использования жидкостных двигателей и твердотопливных ускорителей, на которых работают шаттлы, в новом непилотируемом грузовом носителе "Шаттл-С". В этой программе, однако не содержится сколько-нибудь заметных технических достижений. Но и их осуществление заморожено. "Честно говоря, мы к этому еще вернемся, как только договоримся между собой (на это, похоже, уйдет несколько лет) о сроках реализации инициативы по исследованию космоса, включающей пилотируемые полеты к Луне и Марсу", — заявил Томпсон.

В то время как НАСА лелеет мечту о полете на Марс, небольшие американские компании утверждают, что они могут заработать себе на жизнь запусками на околоземную орбиту небольших объектов массой несколько сот килограммов. Но для начала им необходимо улучшить технические показатели своих носителей. Первенец в этой области, компания Space Services, в 1982 г. осуществила суборбитальный испытательный полет разработанной ею твердотопливной ракеты "Конестога", но ей еще предстоит добиться, чтобы запускаемые ею аппараты могли успешно совершать орбитальные полеты. Попытка American Rocket Company в Камарилло (шт. Калифорния) запустить в конце прошлого года новую ракету на смешанном топливе, закончилась неудачно: стартовавшая ракета превратилась в груды дымящихся обломков. E'Prime Airospace Corporation в Титусвилле (шт. Флорида) надеется собрать новую ракету из узлов боевых ракет "Пискипер".

Лидером среди малых фирм явля-

го городка, с энтузиазмом описывает возможность центра. "У нас были американцы, французы, канадцы, и все они хотят жить здесь своих космонавтов", — говорит он с гордостью.

Вопрос: Сколько стоит подготовка космонавта?

Ответ: Это секрет.

Вопрос: Как это может быть секретом, если вы собираетесь продавать свои услуги?

Ответ: Более 10 миллионов долларов. [Затем добавляет:] Мои секреты утекают!

Вопрос: Что еще вы предпринимаете, чтобы заработать деньги?

Ответ: Мы стали пускать туристов в наши лаборатории и берем с них плату.

Отвечая на вопрос о целях коммерческой деятельности Главкосмоса, Дунаев также переходит на бюрократический язык. "Главкосмос отвечает за всю гражданскую космическую программу, — говорит он. — Мы координируем множество различных направлений в этой области, а также зарабатываем валюту". А Хансон, ведущий специалист по космическим исследованиям в лондонской компании Commercial Space Systems дает более короткий ответ. "Главкосмосу не нужно получать прибыль. Он должен лишь приносить достаточно западной валюты, чтобы оправдать свое существование. А это, — добавляет он, — вопрос, относящийся больше к политике чем к экономике".

Фредерик Гутерл, — Москва.

ренции, а не в соображениях национальной безопасности. "Ясно, — заявляет он, — что американские производители ракет-носителей не хотят видеть Советский Союз на рынке". В то же время Дунаев оптимист и считает, что торговые ограничения не вечны. Он отмечает, что США испытывают давление со стороны союзников, выступающих за ослабление ограничений. Главкосмос также может обойти торговые санкции, запуская свои средние ракеты-носители "Зенит" с территории Австралии и Бразилии. Оба эти государства хотят построить у себя коммерческие космодромы.

Как ни странно, но политический подъем в СССР может поставить Главкосмос перед лицом еще больших проблем. В условиях неустойчивой экономики советский парламент подверг жесткой критике выделение на военные и гражданские космические программы 6,9 млрд. рублей (12 млрд. долл. по официальному обменному курсу). Сокращение средств на оборону на 10% может отразиться на сокращении космических программ. (Так, в прошлом году количество запусков снизилось до 74.) Более солидные сокращения могут ослабить позиции Главкосмоса.

С целью снижения затрат государственных органов президент М. Горбачев с 1 января предоставил возможность организациям самостоятельно заключать контракты с советскими и зарубежными партнерами, минуя органы центрального планирования. Эта свобода стимулирует обеспечение более высокого уровня услуг. Так, хотя Институт космических исследований (ИКИ) уже использует Главкосмос для организации космических полетов в рамках своих научных программ, он, по словам заместителя директора института В. Балибанова, не всегда удовлетворен результатами. Теперь, заявил он, "мы будем требовать от Главкосмоса более качественного выполнения услуг". Если уровень услуг Главкосмоса не будет соответствовать стандартам, институт может обратиться к другим исполнителям. Хотя официальной альтернативы в СССР нет, но известно, что предприятия и конструкторские бюро за рубежом, занимающиеся производством ракет, тоже стремятся продавать носители.

Несмотря на бравурные возгласы в честь предпринимательства, старые привычки отмирают с трудом. Главкосмос, например, как и другие советские организации, с неохотой предоставляет информацию о своей работе и выпускаемых изделиях. Возьмем Звездный городок, Советский центр подготовки космонавтов. Генерал Ю. Глазков, бывший космонавт, а ныне заместитель директора Звездно-

ется Orbital Sciences Corporation в Фэрфаксе (шт. Виргиния), имеющая в своем арсенале носитель "Пегас". Эта ракета отличается наличием треугольного крыла и необычной технологией запуска: она подвешивается под крылом большого самолета типа "Б-52" или "Боинг 747", а при достижении высоты 12 тыс. м стартует в горизонтальном направлении. В апреле "Пегас" вывел свой первый груз — две экспериментальные установки общей массой 220 кг — на полярную орбиту высотой около 600 км.

Orbital Sciences придерживается стратегии, уже проверенной ведущими ракетными фирмами; она застраховала себя правительственными заказами. Агентство по перспективным исследовательским проектам в области обороны оказало значительную финансовую помощь для осуществления первого запуска и содействует в реализации проекта "Таурис" фирмы Orbital Sciences; запуск этой ракеты намечен на лето следующего года. Эта ракета-носитель, на подготовку к старту которой требуется всего 72 ч, будет в конечном итоге выводить на околоземную орбиту груз массой более 1360 кг.

Недавно возникшие компании сейчас связывают свои надежды с новым классом малых спутников весом не более нескольких сот килограммов, называемых лайтсатами. С точки зрения министерства обороны в основном финансирующего эти работы, лайтсаты смогут быстро заменить в случае военного кризиса уничтоженные или поврежденные спутники. Терри А. Хигби, управляющий программой по созданию лайтсатов в Ball Aerospace Systems Group считает, что потребность США в таких спутниках во второй половине 90-х годов, по-видимому, составит порядка 10 штук в год. Малые ракетные компании также надеются, что лайтсаты создадут свой коммерческий рынок. В феврале нынешнего года Orbital Sciences запросила разрешение у Федеральной комиссии связи создать свою собственную систему из 20 лайтсатов для двусторонней коммерческой буквенно-цифровой связи.

Возможно, эти компании со временем примут участие в работах, проводимых в условиях микрогравитации, к которым вновь стали проявлять интерес. "Когда-нибудь коммерческая деятельность в космосе будет проводиться в широких масштабах, — заявил Л. Адамс, бывший президент Martin Mericitta. — Но прежде нам нужно провести массу экспериментов, чтобы проверить все имеющиеся идеи".

Европа, похоже, пытается сделать именно это. ЕКА выделяет на экспе-

рименты по микрогравитации больше денег, чем НАСА; в 1988 г. Европейское агентство израсходовало на эти цели 98 млн. долл. или 2,6% своего бюджета. НАСА же израсходовало 63 млн. долл. (0,7%). Японские, западногерманские и итальянские компании также проводят исследования по влиянию микрогравитации на свойства материалов.

С самого начала осуществления программы "Спейс-Шаттл" в США предоставлялись ограниченные возможности по проведению длительных экспериментов в условиях микрогравитации. Причина в том, что НАСА прервало рассчитанную на 20 лет программу по разработке и использованию возвращаемых аппаратов (капсул), и лишь в последнее время оно вновь стало заниматься этой проблемой. Западные исследователи использовали имеющиеся альтернативы, в частности советские и китайские возвращаемые капсулы. Payload Systems также воспользовалась станцией "Мир", разместив на ее борту комплекс средств для проведения экспериментов, связанных с получением новых материалов, однако существующие торговые ограничения, сдерживают использование таких возможностей.

Небольшие американские и европейские компании и специалисты университетских лабораторий также пытаются придать второе дыхание возвращаемым капсулам. Для стимулирования проведения длительных экспериментов ЕКА разрабатывает свободнолетающую платформу "Еугека" и автономную лабораторию "Колумбус", которая будет обслуживаться орбитальным кораблем "Гермес", запускаемым через каждые шесть месяцев. По словам представителей Евроконсалта, цель заключается в том, чтобы получить большой объем достоверных данных, которые сумели бы убедить промышленные круги перейти к практическому использованию результатов, добытых в космосе. (Планируется изготовить еще два модуля "Колумбус", но пока они находятся в стадии разработки: модуль

для орбитальной станции "Фридом" и орбитальная полярная платформа.

НАСА же делает ставку на "Фридом". Проекты частных компаний, таких, как "Лизкрафт" фирмы Fairchild Space Company или "Индастриал Спейс Фасилити" компании Space Industries были лишены финансовой и политической поддержки. Создание любой платформы нуждается в надежном заказчике (лучше всего, если им будет правительство), чтобы облегчить бремя затрат и убедить других вкладчиков в реальности проекта. Но, поскольку поддержка идеи о запуске исследовательских платформ может ослабить аргументы, выдвигаемые НАСА в защиту орбитальной станции, агентство с подозрением относится к их одобрению.

Космос более не является ареной спортивного матча СССР — США. Не стал он и ареной свободного предпринимательства, открытой для всех. Ситуация изменится лишь когда бизнесмены и исследователи продемонстрируют его коммерческий потенциал.

Однако сделать это самостоятельно они не могут. Правительства должны уменьшить риск космических предпринимателей; они могут сделать это путем выделения средств на научные исследования и созданием приемлемой инфраструктуры в космосе. Это вызов, причем требующий срочной реакции; по мере ослабления военной напряженности правительства должны доказать, что их интерес в коммерциализации космоса не просто риторика. Государства, которые добьются успеха в этой области, уйдут вперед. Это те, кто не хочет остаться на обочине технического и социально-экономического прогресса.

Статья подготовлена на основе репортажей Х. Тиса (из Парижа), Ф. Гутерла (из Москвы), Т. Коппеля (из Токио), У. Сиеды (из Сычуаня), а также материалов, предоставленных редакциями "Pour la Science" (Франция), "Spectrum der Wissenschaft" (ФРГ), «В мире науки» (СССР), "Saiensu" (Япония) и "Le Scienze" (Италия).

Наука и общество

Ламинарный вихрь в системе кровообращения

ТОТ, КТО видел смерч, не мог не поразиться мощи этого явления.

© Захаров В.Н., 1990.

Колоссальная механическая работа совершается за счет сильной тяги, создаваемой вследствие разрежения в центре смерча. Оказывается, этот же принцип действует в кровеносной системе человека. Исследования, проведенные В.Н. Захаровым, Н.И. Крем-

левым и А.Г. Гуниным из Института биоорганической химии АН СССР в Новосибирске в сотрудничестве с Л.В. Полуэктовым и В.А. Самойловым из Омского медицинского института показали, что в сердечно-сосудистой системе существует система последовательных взаимосвязанных асимметричных воронок, которая создает устойчивый вихревой поток крови, обладающий присасывающим эффектом.

Проблема движения крови в организме давно интересовала как физиологов, так и гидромехаников. И, казалось, основные принципы уже известны, первоочередные задачи решены и экспериментальные возможности исчерпаны. Сложилось мнение, что в системе кровообращения существует либо ламинарный, либо турбулентный поток. Основанием для такой точки зрения служили результаты модельных экспериментов; однако они проводились преимущественно на жестких трубках и перенос этих данных на живой организм вряд ли правомерен.

Захаров и его коллеги, задавшись целью понять физические явления в системе кровообращения, разработали оригинальные экспериментальные подходы, позволившие изучить движение крови в живом организме. Они использовали стеариновые и протакриловые посмертные слепки камер сердца и магистральных сосудов людей без патологических отклонений со стороны сердечно-сосудистой системы. Кроме того, проводились киноангиокардиографические исследования (и в экспериментальных, и в клинических условиях) с применением специальных приспособлений — ключкообразных рентгеноконтрастных зондов с 2—3 отверстиями на загнутом конце, которые ориентировались по потоку крови. Наконец, были выполнены эксперименты на животных, которым в различные крупные сосуды имплантировали прозрачные жесткие трубки с размещенными внутри них крыльчатками, чтобы проследить направленность потоков крови в сосудах.

Анализ слепков сердца и сосудов выявил существование последовательных асимметричных воронкообразных камер. Обнаружилось, что впадение полых вен в правое предсердие и легочных вен в левое предсердие, а также выход аорты из левого желудочка и легочной артерии из правого являются тангенциальными. Пространственная конфигурация аорты, как выяснилось, представляет собой спиралевидный тороид на уровне восходящего отдела, дуги и нисходящего отдела, а в грудном и брюшном

отделах сохраняется форма пологой спирали. На уровне бифуркации (разветвления) аорта и легочная артерия образуют как бы винт.

Известно, что в стенках желудочков сердца слои волокон миокарда вьются вокруг полостей желудочков наподобие ткани в турецкой чалме. В кровеносных сосудах также найдены спиральные слои мышечных элементов. Благодаря спиралевидному ходу мышечных волокон сосудов их сокращения носят скручивающий характер, как у мышечных пучков желудочков сердца; это обеспечивает вращательное движение крови. Винтообразная конфигурация аорты и легочной артерии на уровне бифуркации усиливает закрутку потока. Артериолы и вены тоже имеют спирально ориентированные мышечные волокна и их сокращения сохраняют вращение потока крови. Эти структуры сокращаются синхронно, мощно продвигая кровь в направлении к сердцу. Такое одновременное сокращение мышечных слоев артериол и венул авторы обобщают исследование назвали сосудистым резонансом; этот механизм облегчает работу сердца.

Конфигурация и расположение магистральных сосудов и камер сердца в сочетании со спиральной организацией мышечных элементов в них создают предпосылки для вихревого движения крови. И действительно, киноангиокардиографические данные свидетельствуют о вращательном спиралевидном вихревом потоке крови во всех камерах сердца и в магистральных сосудах. Причем вращение крови в правых и в левых отделах сердца и соответствующих сосудах разнонаправленное: в левом предсердии, правом желудочке и легочной артерии — правое по потоку крови, а в правом предсердии, левом желудочке и аорте — левое. Этот последний факт подтверждают опыты с крыльчатками. Закрученный поток, существующий в кровеносном русле, является разновидностью ламинарного потока.

Какова целесообразность такого движения крови? В центре вихревой струи возникает падение давления, в результате чего движущаяся кровь обладает присасывающим эффектом, т. е. другими словами, выполняет насосную функцию. Это облегчает опорожнение камер сердца и продвижение крови по сосудам. Давно обсуждается вопрос о том, что одного сердца недостаточно для продвижения крови по всем многочисленным кровеносным сосудам, особенно капиллярам. Проталкивать кровь по сосудам сердцу помогает присасывающая функция грудной клетки — респираторный насос, брюшной и диа-

фрагмальный насос, а также мышечный насос при физической нагрузке. Захаров с коллегами впервые установили, что насосная функция присуща самой движущейся крови.

Считается, что диастола сердца представляет собой активный процесс благодаря спиралевидным образованиям, обнаруженным между кардиомиоцитами. Эти спиральные соединительнотканые распорки во время систолы, скручиваясь, накапливают энергию. Когда наступает диастола, кардиомиоциты расслабляются и спирали между ними раскручиваются, что способствует раскрытию полостей желудочков. При этом возникает отрицательное давление и кровь активно насасывается из предсердий в желудочки.

Захаров и его коллеги предполагают, что в кровеносных сосудах между мышечными волокнами тоже имеются спиралевидные образования, подобные сердечным. Во время диастолы сердца мышечные волокна сосудов сокращаются и осуществляют пропульсивное движение крови. Спиралевидные образования скручиваются, накапливают энергию. В момент систолы желудочков сердца мышечные волокна сосудов расслабляются, а спиралевидные образования раскручиваются. В результате сосуды активно раскрываются и в них возникает разрежение, что создает присасывающий эффект. Благодаря этому эффекту сердце гораздо легче опорожняется, поскольку снижается сопротивление движению крови. Скручивающий характер сокращения желудочков способствует сохранению и усилению вращения струи крови. Такое сокращение обеспечивается анатомическими особенностями строения миокарда.

Описанные здесь исследования открывают новые возможности в медицинской практике. Одна из наиболее острых проблем современной кардиохирургии — протезирование клапанов сердца и магистральных сосудов. Причиной смерти после таких операций чаще всего бывает образование тромбов. По мнению Захарова и его коллег, ядра тромбообразования возникают из-за появления турбулентных струй на уровне имплантата, что нарушает нормальный ток крови. Они предложили принципиально новые, учитывающие вращательный характер движения крови конструкции атриовентрикулярного и аортального клапанов сердца, а также протеза кровеносного сосуда. В настоящее время авторы на основе открытого ими явления проводят исследования по созданию искусственного сердца.

Пиротехника

Секреты создания поразительных по красоте фейерверков вполне поддаются научному описанию. Аналогичные принципы заложены в работе разнообразных устройств — от космического шаттла до обыкновенных спичек

ДЖОН А. КОНКЛИНГ

ВОТДАЛЕНИИ раздается приглушенный взрыв и в ночное небо выбрасывается сноп желто-оранжевых искр, заканчивающийся в верхней части шаровидной вспышкой из сверкающих нитей синего и зелено-го цвета. Следующая вспышка рождает неровную дугу из красных лент с ливнем белых и золотистых искр. Третья образует лавину ярких белых молний и сопровождается громopodobным шумом.

Подобные зрелища в течение нескольких веков были обычным явлением во время крупных праздников. До недавнего времени создание и составление фейерверков было скорее ремеслом, нежели наукой. Лишь в последние десятилетия исследователи начали раскрывать физические процессы, лежащие в основе ярких цветов и других специальных эффектов. В результате этих исследований появилась новая научная дисциплина — пиротехника, или «наука о горении». Пиротехника затрагивает не только создание фейерверков, но и ряд разнообразных устройств, в которых применяются аналогичные материалы, например, сигнальные ракеты, обыкновенные спички и даже твердотопливные ускорители космического шаттла.

В современных снарядах для фейерверков продолжает использоваться старейший пиротехнический состав — черный порох, одновременно выполняющий функции метательного и взрывчатого вещества. Черный (или дымный) порох был изобретен в Китае более 1000 лет назад с целью использования его в простейших ракетах и шутихах. В средние века сведения о черном порохе постепенно распространились на Запад. В 1242 г. английский монах Роджер Бэкон раскрыл формулу взрывчатой смеси в качестве защиты от обвинений в колдовстве. Он счел эту смесь настолько опасным веществом, что зашифровал ее состав. По мере того как формула черного пороха становилась все более широко известной, происходили революционные изменения в строительстве и горнодобыче. В XIV в. бы-

ли созданы такие виды оружия, как мушкеты и пушки, в которых в качестве метательного вещества применялся черный порох.

Формула черного пороха по-существу не претерпела изменений на протяжении веков: это известная смесь нитрата калия (широко известной калиевой селитры), древесного угля и серы в отношении 75:15:10 по весу. По-видимому, черный порох остается практически единственным химическим изделием, в котором сегодня применяются такие же компоненты, в такой же пропорции и который изготавливается по такой же технологии, как и во времена Колумба. Это завидное постоянство отражает тот факт, что порох является почти идеальным пиротехническим составом. Он состоит из имеющих в изобилии недорогих химических веществ, сравнительно неядовитых и устойчивых к воздействию внешней среды. Смесь настолько стабильна, что ее можно хранить десятилетиями, не опасаясь разложения, если содержать сухой. Черный порох легко воспламеняется при помощи малых количеств энергии, например от искры или небольшого дистанционного взрывателя.

Так уж сложилось исторически, что на Западе в производстве, связанном с созданием фейерверков, доминировали лишь несколько фамилий. Подробности технологии, например, рецептура и методы смешения, сохранялись в глубокой тайне и передавались по наследству из поколения в поколение. Эти имена и сейчас продолжают играть главную роль в пиротехнической индустрии. Например, в США, это — Груччи из Белпорта (шт. Нью-Йорк), Замбелли из Нью-Касла (шт. Пенсильвания), Роцци из Ловленда (шт. Огайо) и Соудза из Риальто (шт. Калифорния). Одним из следствий семейной секретности было то, что до недавнего времени фундаментальные пиротехнические исследования проводились чрезвычайно редко, и результаты их, как правило, не публиковались в научных журналах.

ПИРОТЕХНИЧЕСКИЙ процесс в принципе не отличается от обычного горения. В состав пиротехнической смеси входят источник кислорода (окислитель) и горючее вещество (восстановитель). Они представляют собой обычно отдельные твердые химические реагенты, которые должны быть механически смешаны. При нагревании происходит реакция с обменом электронами, или, иначе, окислительно-восстановительная реакция.

В ходе ее атомы горючего теряют электроны, которые переходят к атомам окислителя. Атомы горючего связываются с освобождающимися



окислителем атомами кислорода, образуя стабильные продукты реакции. Поскольку новые химические связи характеризуются более высокой стабильностью, в ходе реакции выделяется энергия в форме тепла; аналогичный процесс имеет место при горении. Однако в этом случае кислород поступает из воздуха. Пиротехническая же смесь содержит кислород в себе самой, поэтому выделение тепла строго ограничено.

Пока пиротехническая смесь остается холодной и сухой, она, как правило, очень стабильна. Твердая смесь реагирует очень медленно по поверхности, причем скорость реакции определяется диффузией. При воспламенении смесь начинает переходить в жидкое и затем, в газообразное состояние в пиротехническом пламени, в результате чего горючее и окислитель перемешиваются. Такое смешение двух указанных компонентов ускоряет реакцию и в свою очередь еще сильнее усиливает процесс выделения энергии.

В пиротехнике применяются различные горючие вещества. В состав многих смесей входят органические углеродсодержащие материалы, такие, как древесный уголь (используемый в снарядах для фейерверков и в

дымном порохе) и сахар (в дымовых гранатах). Прочие широко распространенные горючие вещества содержат неметаллические элементы, такие, как сера, кремний и бор. При окислении кремния и бора выделяется большое количество тепла и не образуются газообразные продукты. Эти вещества применяются во взрывателях замедленного действия для поджига других составов в заданное время. Химически активные металлы, чаще всего алюминий, магний и титан, горят при высоких температурах, испуская яркий свет. Они начали применяться в фейерверках в XIX в. и заметно улучшили их зрелищность.

Наиболее известным пиротехническим эффектом фейерверка являются «брызги» света. Их цвет зависит от длины волны излучения. Видимый свет представляет собой электромагнитное излучение в диапазоне длин волн от 380 до 780 нм ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$). Свет с наибольшей длиной волны воспринимается глазом как красный, а свет с наименьшей длиной волны — как фиолетовый. Светящийся объект виден как белый, если излучает во всем видимом спектре. Если большая часть световой энергии излучается в пределах узкой полосы длин волн, то

цвет такого излучения будет соответствующим данному участку спектра.

Пиротехнические составы излучают свет при трех основных процессах: температурном свечении (тепловое излучение абсолютно черного тела), атомарном излучении и молекулярном излучении. Температурное свечение имеет место в случае с нагреванием в пламени твердых тел или жидких частиц до высоких температур. Горячие частицы излучают в широком спектре, освобождаясь при этом от избыточной энергии. Чем выше температура, тем короче длина волны излучаемого света. Интенсивность излучения пропорциональна четвертой степени температуры пламени, по-

НА ФОТОГРАФИИ изображен впечатляющий фейерверк в честь столетия Статуи Свободы в Нью-Йоркской гавани. Простейшие фейерверки производились более тысячи лет, однако лишь в XIX в. были найдены яркие цветообразующие соединения. Составы для фейерверков сохранялись в тайне как фамильные секреты, и только в последние десятилетия исследователи начали раскрывать химические процессы, лежащие в основе ярких вспышек и громopodobного шума.





ОТ КОНСТРУКЦИИ СНАРЯДОВ ДЛЯ ФЕЙЕРВЕРКА зависит визуальный эффект. В состав всех снарядов входят черный порох в качестве метательного заряда и поджигающий порох огнепроводной шнур, предназначенные для выстреливания снаряда из пусковой трубы. Взрыватель замедленного действия поджигает разрывной заряд, когда снаряд уже взлетел высоко над землей. В снаряде американско-европейской конструкции звезды случайным образом перемешаны с разрывным зарядом (вверху слева). Они производят цветные вспышки нерегулярной структуры. В снарядах хризантемового типа звезды располагаются вокруг разрывного заряда (вверху справа), обеспечивая симметричную картину при разрыве. Снаряды многократного разрыва разделены на несколько отсеков, каждый из которых заполнен определенным составом, а все отсеки соединены посредством взрывателей замедленного действия (слева).

этому незначительное повышение температуры приводит к резкому усилению яркости.

Белые сигнальные ракеты содержат в своем составе в качестве горючего химически активный металл типа магния. Твердые частицы оксида, образующиеся при окислении металла, нагреваются до температуры более 3000 °С — до «белого каления». Смесь перхлората калия и мелкого алюминиевого или магниевого порошка обеспечивает получение яркой вспышки белого света. Такого рода составы для «фотовспышек» или «вспышек с грохотом» находят широкое применение — от изготовления шуток до создания специальных эффектов на концертах рок-музыки и мгновенного освещения при ночной фотографической съемке. Такие составы дают яркую вспышку, подобную

той, которой традиционно завершается разрыв снаряда для фейерверка.

Более крупные частицы металла продолжают оставаться горячими дольше, чем частицы порошка, и способны гореть за счет кислорода воздуха. Такие частицы образуют искры белого света, мгновенных вспышек они не дают. Чем крупнее частица, тем дольше длится искра. Частицы железа и древесного угля не нагреваются так сильно, как частицы активных металлов; они могут быть нагреты только до 1500 °С, вследствие чего образуют менее яркие золотистые искры.

Яркие краски современных фейерверков обусловлены атомами или молекулами веществ, присутствующих в пиротехническом пламени в газообразной форме. Входящие в состав атома электроны возбуждаются за

счет тепла пламени и переходят с обычной, основной орбиты на орбиту с более высоким уровнем энергии. Затем электрон быстро возвращается в основное состояние с излучением избыточной энергии в виде фотона (элементарной частицы, или единицы излучения) определенной длины волны.

Натрий является одним из наиболее мощных атомарных светоизлучателей. Нагретые до температуры выше 1800 °С атомы натрия испускают желто-оранжевый свет длиной волны 589 нм. Этот процесс характеризуется такой эффективностью, что способен затмить любые другие атомарные или молекулярные источники света в пиротехническом пламени. Даже незначительное количество натрийсодержащих примесей способно свести на нет усилия по получению пламени любого другого цвета.

В иных случаях мощное натриевое свечение может оказаться полезным. Окислитель из нитрата натрия в смеси с магниевым горючим является основным составом, который применяется в армии США для освещения местности при проведении ночных операций. При воспламенении смеси происходит окисление магния нитратом натрия; образующиеся в результате частицы оксида магния, нагретые до высоких температур, светятся ярким белым светом. Высокие температуры (порядка 3600 °С), характерные для магниевого пламени, расширяют диапазон длин волн, излучаемых атомами натрия. В результате обеспечивается освещение ярким белым светом.

Аналогично атомарному излучению молекулярное обусловлено переходом электронов из основного состояния в возбужденное. В пиротехническом пламени молекулы должны присутствовать в газообразной форме и должны быть нагреты до температуры, достаточно высокой для обеспечения перехода в возбужденное состояние с последующим излучением. Если пламя слишком горячее, молекула разлагается на составляющие ее атомы и не излучает света. Более того, чтобы получились яркие цвета, необходимо обеспечить достаточно высокую концентрацию молекул в пламени, однако требуется свести к минимуму образование жидких и твердых частиц, поскольку они являются источником температурного свечения, «размывающего» нужный цвет.

В ОТСУТСТВИИ теоретического фундамента цвета для фейерверков разрабатывались методом проб и ошибок. В течение нескольких последних десятилетий Б. Дауда и Г. Узбстер III из Центра материально-

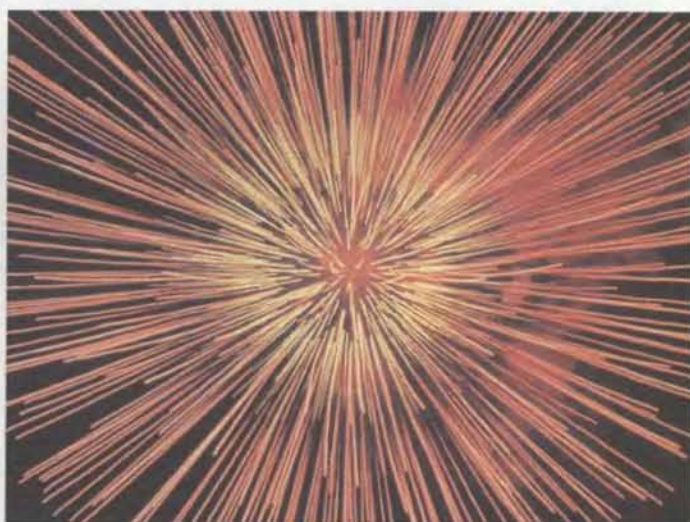
технического обеспечения систем оружия ВМС США в Крейне (шт. Индиана) совместно с Д. Диллихеем из Лонгхорнского отделения корпорации Thiokol в Маршалле (шт. Техас) проводили исследования, которые помогли определить главные источники получения цветов в пиротехнике. Дополнительный вклад в решение данной научной проблемы внес и Т. Симидзу из японской компании Коа Fireworks.

Получение почти всех цветов обеспечивается небольшим числом эле-

ментов. Соединения стронция дают красный цвет: гидроксид стронция (SrOH) и хлорид стронция (SrCl) излучают красный свет в диапазоне длин волн между 605 и 682 нм. Молекулы с содержанием бария дают зеленый цвет. Хлорид бария (BaCl), например, излучает зеленый свет в диапазоне 507—532 нм.

Молекулы указанных веществ очень непрочны и нестабильны при комнатной температуре, поэтому их нельзя непосредственно закладывать в снаряды для фейерверков. Их синтез

обеспечивается в ходе быстрых реакций, происходящих в пламени. Изготовители добавляют такие соединения, как хлорсодержащий каучук, поливинилхлорид (хлорсодержащая пластмасса), перхлоратные или хлоратные окислители (содержащие атом хлора и 4 или 3 атома кислорода соответственно). Эти соединения разлагаются при высоких температурах с выделением свободного хлора. Атомы хлора соединяются с атомами бария или стронция, образуя нужные светоизлучающие молекулы.



ФОРМЫ И ЦВЕТА ФЕЙЕРВЕРКА зависят от типа снаряда и состава звезд. Неравномерный ливень светлых искр характерен для снаряда американско-европейской конструкции (вверху слева). Сферические, в форме цветка хризантемы разрывы получаются при использовании соответственно названного снаряда японской конструкции (вверху

справа). Снаряды многократного разрыва или залпы снарядов однократного разрыва способны создавать необычайно красивые эффекты благодаря использованию различных пиротехнических составов, излучающих свет различного цвета и издающих грохот при воспламенении (внизу).



СВЕЧЕНИЕ обусловлено температурным нагревом, атомарным и молекулярным излучением. Его цвет зависит от того, в какой области видимого спектра излучается основная часть энергии (вверху). Атомы и молекулы возбуждаются при нагревании в пиротехническом пламени до высоких температур и выделяют избыточную энергию в виде света. Атомарный натрий является интенсивным источником желто-оранжевого излучения. Непрочные соедине-

ния, содержащие медь, барий и стронций, создают синий, зеленый и красный цвета соответственно (в центре). Упомянутые нестабильные молекулы образуются только на короткое время в горячем пламени. Частицы алюминия и магния при воспламенении дают белые искры; частицы железа и древесного угля не нагреваются так сильно, поэтому излучают слабый золотистый свет (внизу).

По-видимому, наиболее сложной задачей для пиротехника является получение яркого синего цвета. Наилучший найденный до настоящего времени синий излучатель — это хлорид меди (CuCl), который нестабилен при высоких температурах, необходимых для получения интенсивного света. Если температура пламени превышает необходимую для оптимального молекулярного излучения, молекулы быстро распадаются. По указанной причине для получения при фейерверке отчетливого синего свечения необходимо особенно точно регулировать относительный состав и размеры частиц требуемых химических веществ. То же самое остается справедливым в отношении лилового и фиолетового цветов, которые получаются при совместном свечении хлорида стронция и хлорида меди, образующихся в пламени. Я особенно внимательно слежу за цветами пламени при наблюдении фейерверка; и когда вижу отчетливый синий цвет, всегда испытываю удовлетворение, и мне хочется узнать, какой химический состав использовался для его получения.

Цветосоздающие соединения в сочетании с соответствующими горючими компонентами и окислителями способны создавать специальные эффекты. Каскады красных искр обязаны своим цветом присутствию в смеси карбоната стронция (излучающего красный свет) и гранул алюминия (создающих искры). Данные компоненты смешиваются с горючим, связующим и окислителем до получения густой суспензии; в суспензию затем погружают провода и дают ей затвердеть. Другое соединение стронция —

нитрат стронция — смешивается с перхлоратом калия (окислителем и источником хлора) и с различными горючими компонентами с целью получения отчетливого красного свечения в сигнальных ракетах.

Фейерверк является произведением инженерно-пиротехнической мысли. Ниже описаны два типа снарядов для фейерверка. Цилиндрические снаряды американско-европейской конструкции, обычно от 7 до 30 см в диаметре, выстреливаются из металлических, картонных или пластмассовых мортир. Содержащийся в основании снаряда черный порох воспламеняется и, сгорая, выбрасывает его на несколько сот метров вверх. Взрыватель замедленного действия загорается в момент выстреливания снаряда; через несколько секунд, когда снаряд находится высоко над землей, заряд черного пороха разрывает снаряд и поджигает зерна цветосоздающего состава (так называемые «звезды»), которые беспорядочно набиты в снаряд. Звезды разлетаются в разные стороны, образуя случайную световую и цветовую композицию. В такого типа снарядах вместо звезд и разрывного заряда может содержаться несколько унций пороха (1 унция = 28,35 г) для получения вспышки с грохотом. Такой снаряд, называемый «салютом», производит вспышку света, сопровождаемую громким взрывом.

Круглые снаряды, так называемого «хризантемного» типа японской конструкции имеют примерно такой же диаметр, как и американско-европейские снаряды, и также выстреливаются из мортир. В снарядах хризантемного типа звезды распределены в виде

сферической оболочки, окружающей центральный разрывной заряд из черного пороха. Когда заряд взрывается, он поджигает многочисленные звезды и разбрасывает их симметрично в разные стороны. В зависимости от размеров и химического состава звезд можно добиться получения мгновенной вспышки или протяженных нитей. Светящаяся нить способна даже изменяться в цвете, если звезда содержит более одного слоя цветосоздающего состава.

Некоторые снаряды американско-европейской конструкции состоят из нескольких отсеков, в каждом из которых содержится определенный разрывной заряд и звезды (или порох для получения вспышки с грохотом). Когда разрывается один отсек, происходит поджиг взрывателя замедленного действия, ведущего к следующему отсеку. В результате один снаряд обеспечивает получение нескольких разрывов. Невероятным представляется факт изготовления защитных перегородок между отдельными разрывными отсеками из обыкновенного картона.

КРОМЕ световых эффектов методы пиротехники часто используются для получения тепла. Наиболее известным пиротехническим устройством, предназначенным для получения тепла, является обыкновенная спичка, состоящая из энерговыделяющей смеси окислителя в виде хлората калия и серы в сочетании с клеевым горючим и связующим.

Горючее вещество, силицид кальция, в смеси с оксидом железа выделяет некоторое количество тепла и не

выделяет газов. Во время 2-й мировой войны небольшие пиротехнические устройства, содержащие указанный состав и приспособление для его поджига, встраивались в консервные банки с продуктами, которые можно было благодаря этому разогревать при отсутствии плиты. Смеси замедленного действия, обычно в виде прессованных столбиков, содержащих горючее на основе бора, вольфрама или кремния, выделяют заданное количество тепла за определенное время и способны запустить другую, более мощную реакцию. Такого рода составы применяются для управления последовательностью исполнения во времени определенных операций в различных аэрокосмических устройствах, включая пиропатроны для мгновенного отстрела люков аварийного выхода или отработанных ступеней ракет; аналогичные взрыватели замедленного действия не допускают разрыва ручных гранат сразу же после выдергивания чеки и освобождения рычага. Для защиты самолета от ракет противника, наводящихся на источник теплового излучения, разработаны специальные инфракрасные «помехи». Составы, идущие на изготовление таких «помех», излучают в инфракрасном диапазоне, имитируя реактивный двигатель.

Тепловыделение часто сопровождается образованием дыма и газа. Применяемые для сигнализации и создания дневных зрелищ цветные дымовые гранаты содержат смесь хлората калия в качестве окислителя и сахара в качестве горючего; смесь при воспламенении выделяет пары органических красителей, ярко окрашивающие облака дыма. Сахар применяется потому, что горит при низкой температуре; более горячее пламя разложило бы красители.

Твердотопливные ракетные двигатели представляют собой, по сути дела, гигантские пиротехнические устройства, конструкция которых предусматривает оптимальное газообразование. Каждый ускоритель космического шаттла содержит около 500 тыс. кг ракетного топлива, состоящего из порошкообразного алюминия и перхлората аммония в качестве окислителя. Кроме того, в состав смеси входит специальное горючее и связующий состав — сополимер буталиена, акриловой кислоты и акрилонитрила (РВАН). При окислении РВАН выделяет большое количество оксида и монооксида углерода и водяного пара, которые и поднимают шаттл в космос. Перхлорат аммония пригоден для решения данной задачи, поскольку все продукты его разложения также являются газами, что также способствует повышению тяги.

В небольших масштабах газообразование создает характерный шипящий звук, слышимый при запуске некоторых снарядов фейерверков. Составы, содержащие в качестве окислителя перхлорат калия и соль органической кислоты (например, салицилат

натрия — «двоюродный брат» аспирина), горят послойно и выделяют газ порциями. Если такого рода смеси запрессованы в узкие трубки, то короткие импульсы истекающего газа создают свистящий звук.

Наиболее подходящий способ при-



ХОЗЯЙСТВЕННАЯ СПИЧКА представляет собой специальное пиротехническое устройство. Реакция между окислителем в головке спички — хлоратом калия — и содержащимся на стенке коробка красным фосфором приводит к воспламенению смеси из хлората калия и клеевидного горючего. Присутствуют все пиротехнические эффекты: выделение тепла, дыма, света, газа и звук. Некоторые ранее выпускавшиеся спички из состава на основе хлората калия поджигались путем погружения в серную кислоту. Смесь из серы и хлората калия настолько чувствительна к поджигу, что ее использование было запрещено в Англии законом от 1875 г. В США применение хлората калия в фейерверках также ограничено.

менения конкретной пиротехнической смеси определяется химической активностью входящих в ее состав окислителя и горючего. Химическая активность горючего напрямую связана с количеством тепловой энергии (теплотой сгорания), выделяемой в процессе соединения с кислородом. Металлы выделяют при окислении большое количество тепловой энергии; сахар выделяет сравнительно меньше. Древесный уголь и натуральные вещества, например красный каучук — сок, особой породы деревьев — производят достаточное количество тепла для активизации цветосоздающих составов.

Химическая активность окислителя зависит от двух основных факторов:

температуры и теплоты разложения. При температуре разложения окислитель начинает выделять с заметной скоростью кислород. Теплотой разложения, как подразумевается самим названием, является количество теплоты, необходимое для разложения окислителя, в процессе которого собственно и выделяется кислород. Данное количество может быть положительным (эндотермическая реакция), тогда тепло поглощается в процессе разложения, или отрицательным (экзотермическая реакция), тогда тепло выделяется.

Реакция разложения хлората калия протекает при довольно низкой температуре (360°C) и является экзотермической; данная реакция использует

ся в дымовых гранатах и хозяйственных спичках ввиду значительного количества выделяемой энергии и простоты запуска. Противоположным вариантом является реакция разложения оксида железа, которая протекает при температуре около 1500°C и является сильно эндотермической. Эту реакцию можно запустить и поддерживать только при помощи энергоемкого металлического горючего типа алюминия.

СКОРОСТЬ протекания реакции зависит от способа упаковки и однородности пиротехнической смеси. Как известно каждому изготовителю цилиндрических бомб, оболочка существенно ускоряет пиротехнический процесс за счет концентрации тепла и горячего газа в зоне протекания реакции. Смесь, скоростью сгорания которой можно управлять в открытом состоянии, способна сильно взрываться, будучи ограниченной. В общем случае, чем однороднее размешаны горючее и окислитель, тем выше скорость горения.

Однажды на семинаре мне был задан вопрос, почему жидкости не находят широкого применения в пиротехнике, хотя их можно смешивать гораздо лучше с получением намного более химически активных составов, чем в случае с твердыми веществами. В ответе я объяснил, что жидкости смешиваются слишком хорошо. Жидкие составы оказывались бы слишком однородными и поэтому чересчур химически активными и чувствительными к поджигу. Кроме того, во время хранения жидкости могут отстаиваться, нарушая тем самым химическое равновесие. Ранние варианты динамита, представляющие собой пористые вещества (например, древесные опилки), пропитанные жидким нитроглицерином, отличались исключительной нестабильностью именно по данной причине.

Химическая активность максимальна, когда смешение окислителя с топливом производится на атомарном уровне, и принимающий электроны окислитель располагается в непосредственной близости от отдающего электроны атома или иона горючего при запуске пиротехнической реакции. Такого рода энерговыделяющие атомарные смеси являются, если выражаться точнее, взрывчатыми веществами, а не пиротехническими составами, однако принципы, определяющие их характеристики, аналогичны изложенным ранее. Например, молекулярная формула нитроглицерина выглядит как $C_3N_3H_5O_9$. Незначительное возмущение (тепловое или ударное) заставляет его разлагаться



ПРАЗДНИКИ сопровождалась фейерверками на протяжении веков. На хромотипографии запечатлено открытие в 1883 г. Бруклинского моста через р. Ист-Ривер (вверху). Столетие моста отмечалось не менее яркой демонстрацией пиротехнического искусства (внизу). В 1983 г. зрелище было организовано семейством Груччи — главными создателями фейерверков в США.

на углекислый газ (CO_2), воду (H_2O), азот (N_2) и небольшое количество кислорода (O_2). В ходе реакции азот-кислородные атомные связи заменяются на намного более стабильные углерод-кислородные, водород-кислородные и азот-азотные связи с большим выделением энергии.

Менее известным, однако, все более важным веществом описанного типа является азид натрия, который служит активным компонентом в воздушных резервуарах для транспортных средств. Указанная смесь представляет собой взаимно проникающие ионные решетки натрия и азиды (группы из трех химически связанных атомов азота). Энергетическое воздействие нарушает решетчатую структуру. Натрий соединяется с кислородом, а атомы азота группируются попарно, образуя большое количество газообразного азота.

ИСТОРИЯ пиротехники как в США, так и за рубежом полна трагических событий, случившихся в процессе производства, таких, как сильнейший взрыв, разрушивший в 1983 г. завод Груччи на о. Лонг-Айленд (шт. Нью-Йорк). Необходимость повышения безопасности требует глубокого изучения явления воспламенения.

Воспламенение происходит, когда энергия от какого-либо источника — от пламени, трения, удара, искры, повышения температуры или даже от лазерного луча — разрушает химические связи в пиротехнической смеси. В результате образуются более стабильные связи с выделением энергии. Если количество выделенной энергии достаточно для запуска реакции в следующем слое смеси, то реакция продолжится; если энергия поглощается окружающим веществом или ее количество не достаточно для запуска реакции в следующем слое, то реакция затухает.

Ф. Макинтайр совместно с коллегами с испытательного полигона Хэзард при Космическом центре Джона Стенниса (шт. Миссисипи) проанализировали ряд пиротехнических составов на предмет определения чувствительности к поджигу различными источниками энергии. Проведенные исследования показали, что критическими факторами, определяющими чувствительность, являются количество выделяемого в ходе реакции тепла и температура воспламенения, т. е. минимальная температура, необходимая для запуска быстропотекающей самораспространяющейся реакции. Кроме того, чувствительность к поджигу зависит от размеров частиц химических компонентов и

размеров зерен смеси; смесь из зерен меньшего размера воспламеняется легче, чем смесь из более крупных зерен. Способность к поджигу под влиянием трения определяется присутствием абразивных веществ в смеси. Добавление смазки типа воска позволяет существенно снизить вероятность воспламенения от трения.

Кроме того, для людей, пользующихся пиротехническими средствами, особое значение имеет фактор безопасности, поскольку дети, праздная День независимости, День взятия Бастилии, День Гая Фокса, Новый год и другие праздники, по традиции устраивают фейерверки. В 1976 г. Комиссия по безопасности потребительских товаров США в законодательном порядке установила строгие федеральные стандарты на изделия для устройства фейерверков в быту. Страны европейского экономического сообщества (ЕЭС), применяющие разнообразные нормы безопасности, пытаются сейчас объединить их в едином своде правил, действуя в общем русле унификации законов и экономических принципов.

НЕТ СОМНЕНИЙ в том, что многие научные карьеры сложились благодаря раннему увлечению пиротехническими опытами — мне пришлось убедиться в этом в ходе многочисленных бесед с исследователями, работающими в различных областях науки. А необходимость быстрого придумывания объяснений родителям по поводу заполнения дымом подвала после удачного эксперимента, по-видимому, способствовала многим юридическим карьерам.

Семейный характер гражданской пиротехники и секретный характер большей части работ в оборонной промышленности затрудняют получение академического образования в данной области. Единственные известные мне академические пиротехнические курсы в США читаются на нескольких ежегодных, продолжительностью в одну неделю семинарах, проводимых несколькими моими коллегами и мною в Вашингтон-Колледже (шт. Мэриленд). К счастью, ряд организаций активно поддерживает развитие пиротехники как науки и публикует результаты исследований в этой области. К этим организациям относятся Международное пиротехническое общество и больше любительский Международный союз пиротехников. Редко выходящий журнал "Pyrotechnica" также помещает статьи о текущей работе.

Гражданская пиротехника по-прежнему активнее всего поддерживается широкой публикой. В США с 1976 г.

среднегодовое потребление устройств для создания фейерверков удвоилось. Многовековая традиция устройства фейерверков продолжает увлекать людей, несмотря на конкуренцию со стороны рок-групп, видео и других «цвето-музыкальных» развлечений. Очевидно, современная техника еще не нашла замену работе искусного мастера, которая окрашивает ночное небо яркими фонтанами света, вызывая у нас чувства восхищения.

Вниманию читателей!

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.

Эту книгу вы сможете заказать в магазинах научно-технической литературы



Рак каштанов

Гриб, уничтоживший американский каштан, ныне сам подвергается биологическому нападению. Есть надежда, что новый паразит со временем обуздает своего предшественника

ДЖОЗЕФ Р. НЬЮХАУС

СТО ЛЕТ назад зубчатый каштан (*Castanea dentata*) можно было назвать деревом Америки. В зоне своего естественного распространения это высокое величественное дерево составляло четвертую часть лиственных пород, образуя почти непрерывную цепь лесов от шт. Мэн до Джорджии. Каштан рос быстрее большинства других деревьев, достигая иногда 300 м в высоту и 2 м в обхвате. Его прямослойная древесина легко колется, сгорает почти без дыма и не гниет благодаря высокому содержанию таннина (это дубильное вещество присутствует также в чайном листе). Из-за устойчивости к гниению древесина каштана шла на изготовление шпал и корабельных мачт, столбов для изгородей и опор телеграфных линий. В районах массового распространения каштана процветало производство дубильных веществ. Плоды зубчатого каштана, превосходящие по вкусу плоды других видов каштана, составляли основную часть рациона многих животных. Человек использовал их в качестве ингредиента кондитерских изделий.

В настоящее время зубчатый каштан выживает главным образом в виде немногочисленного подлеска, образованного корневой порослью погибающих или мертвых деревьев. Большинство взрослых деревьев (3—4 млрд.) погибло в первой половине нашего века от грибкового заболевания, занесенного на американский континент около 1900 г. вместе с каштаном, который ввезли из Азии. Место каштана заняли дуб и другие лиственные породы.

Упорные попытки вывести более устойчивые к этому заболеванию разновидности каштана до сих пор не имели успеха. Но сегодня благодаря достижениям биотехнологии появилась надежда на новое "оружие" против гриба-паразита. Известно, что некоторые штаммы гриба не вызывают гибели дерева-хозяина. Генетический механизм такой пониженной вирулентности уже частично раскрыт. Если удастся придать это свойство всем другим штаммам, взрослые каштаны смогут вновь украсить американский ландшафт.

Пагубную болезнь каштана впервые обнаружил в 1904 г. Г. Меркель из Бронкского зоопарка. Обеспокоенный тем, что на деревьях, росших на территории зоопарка, появились некротические углубления, которые называют раком или ожогами коры, он обрезал пораженные ветви. Но несмотря на это, болезнь за год охватила большинство каштанов в парке и многие мелкие экземпляры погибли. Крупные деревья продержались еще лет десять, но и они были побеждены.

В 1906 г. У. Меррилл из Нью-Йоркского ботанического сада установил, что гриб проникает в каштан через повреждения в коре, и назвал патогенный организм *Diaporthe parasitica*. В 1912 г. по таксономическим соображениям его переименовали в *Endothia parasitica*, и под этим названием гриб стал широко известен. В 1978 г. вновь по таксономическим причинам гриб получил свое теперешнее "имя" — *Cryphonectria parasitica*.

ПРИ ПОЛНОЙ незащищенности дерева-хозяина и однородности его популяции отсутствие природных барьеров позволяло *Cryphonectria parasitica* беспрепятственно распространяться: к 1950 г. он завоевал всю зону произрастания *Castanea dentata* (см. рисунок на с. 67). Каковы были механизмы столь стремительного успеха паразита? Подобно большинству грибов, он размножается и половым и бесполом путем. Сначала половые споры, называемые аскоспорами, разносятся ветром и дают начало новым колониям. Затем в этих колониях вызревают связанные клейким веществом споры бесполого размножения — конидии, которые разносятся дождевой водой или перетаскиваются с дерева на дерево на конечностях насекомых и птиц.

Работники лесных хозяйств напрасно пытались замедлить распространение заболевания, делая в незараженных еще лесах вырубку шириной до 1,5 км, а также уничтожая больные деревья. Не дало желаемого результата и повторное высаживание каштана в пораженных районах после удаления погибших деревьев: гриб сохранялся как сапрофит на гниющих

остатках или как слабый паразит на других породах.

Многие специалисты полагали, что зубчатый каштан в Америке обречен, но его спасла от вымирания способность давать обильную корневую поросль. Хотя со временем эти растения тоже заболевают обычно до достижения зрелости, их отводки служат исходным материалом для разведения каштана в защищенных питомниках. Кроме того, есть надежда на насаждения взрослых деревьев к западу от зоны распространения *Castanea dentata*.

Первый шаг в борьбе с эпидемией — выяснение истории ее развития. Если бы нашлся организм-хозяин, на котором первоначально обитал *Cryphonectria parasitica*, можно было бы изучить механизмы естественной защиты от гриба. Догадка первых исследователей о том, что гриб появился в США вместе с ввозимыми из Азии взрослыми каштанами, подтверждалась рядом обстоятельств. Во-первых, в 1938 г. болезнь поразила европейский каштан (*Castanea sativa*) в тех районах Италии, где лет на 10 ранее были организованы опытные питомники японского каштана (*Castanea crenata*). Во-вторых, культуры ткани грибов, полученных с каштанов в Китае, Японии, Европе и США, сходны между собой по морфологии и вирулентности. В-третьих, как показал анализ ископаемых остатков, представители рода *Castanea* произрастали в Китае и Японии задолго до того, как появились в других регионах. Наконец, азиатский каштан оказался устойчив к грибу. Эти факты свидетельствуют, что азиатские виды каштана эволюционировали вместе с грибом-паразитом и естественный

ЗУБЧАТЫЙ КАШТАН высотой 23 м, которого не коснулось губительное заболевание, вызываемое грибом *Cryphonectria parasitica*, так как он растет в округе Лейк (шт. Мичиган), что в 300 км к западу от зоны естественного распространения каштана. Такие уцелевшие деревья являются национальным достоянием и ценным селекционным материалом.

отбор благоприятствовал устойчивым экземплярам.

В Европе грибковое заболевание каштана распространялось медленнее, чем в США, отчасти потому, что европейский вид более устойчив к паразиту. Помимо этого, *Castanea sativa* представляет собой небольшое садовое дерево, которое обычно растет отдельными группами, далеко отстоящими друг от друга. Разобщенность популяции наряду с такими преградами, как Альпы, замедляла расселение паразита. Тем не менее за 25 лет европейскому виду был нанесен жестокий урон в Италии, и волна эпидемии приблизилась к Франции.

И вот в 1950 г. произошло ободряющее событие: вблизи Генуи были найдены экземпляры европейского каштана с раковыми изъязвлениями коры, размеры которых не увеличивались (см. иллюстрацию на с. 69). А. Бираги из Института лесоводства во Флоренции обнаружил, что у этих деревьев некоторые пораженные грибом участки изолированы особой тканью, называемой каллюсом, которой растения окружают места поражений; остальные же участки некроза продолжали расширяться. Бираги предположил, что некоторые штаммы гриба потеряли вирулентность. Однако никто не брался проверить

его гипотезу до 1964 г., когда Ж. Грант из Национального института сельскохозяйственных исследований в Клермон-Ферране подтвердил правоту Бираги.

Грант заметил, что в экстракте гриба из участков некроза, изолированных каллюсом, отсутствует оранжевый пигмент и значительная часть пикнид — органов конидиального спороношения, которые характерны для *Cryphonectria parasitica* в растущих участках рака коры. При заражении европейского каштана неокрашенными штаммами рак коры может возникать, но пораженные участки увеличиваются в размерах столь мед-



ленно, что дерево успевает изолировать их. Грант назвал новые штаммы гиповирулентными, поскольку они не вызывают эффективной инфекции.

Грант и его сотрудники сделали замечательное открытие: свойство гиповирулентности способно передаваться. Когда агаровые столбики с гиповирулентной и вирулентной культурами поместили рядом в чашке Петри, спустя несколько дней изначально вирулентная колония приобрела сходство с гиповирулентной. Это навело на мысль обработать участки некроза гиповирулентными штаммами. Действительно, в результате такой процедуры пораженные участки быстро прекращали расти. Эти и другие эксперименты показали, что носитель гиповирулентности находится в цитоплазме (внутриклеточной жидкости) гриба и передается от штамма к штамму при образовании анастомозов (мостиков) между гифами (нитевидными структурами) соседних особей гриба. По анастомозам цитоплазма перетекает из одной гифы в другую.

Гиповирулентность побеждала вирулентность как в лаборатории, так и в природных условиях. В 1966 г. Грант приступил к реализации программы биоконтроля, которая с тех пор принесла хорошие результаты. А в Италии благодаря естественной встречающейся гиповирулентности произошло самоизлечение каштана без вмешательства человека.

БЫЛА НАДЕЖДА на столь же замечательные результаты в США, и поначалу действительно появились сообщения об успешных опытах на зубчатом каштане. В 1972 г. Р. Джейнсу, Н. Ван Альфену и их коллегам на опытной станции в Нью-Хейвене (шт. Коннектикут) удалось замедлить рост участков рака коры у сеянцев в теплице путем прививки гиповирулентными штаммами, предоставленными Грантом. Через год, получив разрешение от министерства сельского хозяйства США на проведение поле-

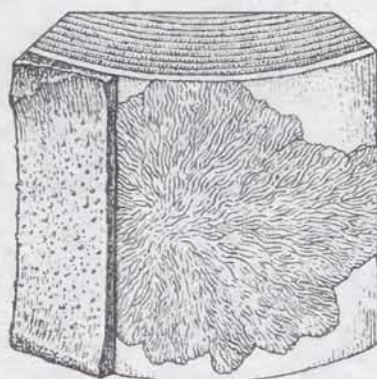
вых испытаний, они обработали европейскими гиповирулентными штаммами деревья, и вновь рак остановился. В большинстве опытов прививки вызывали появление у грибов гиповирулентности.

Однако в ходе дальнейших исследований выяснилось, что торможение рака после обработки гиповирулентными штаммами наблюдается не всегда: в некоторых случаях какой-то неизвестный фактор препятствовал передаче положительных свойств от гиповирулентного штамма вирулентному по мостикам между гифами. Это явление получило название вегетативной несовместимости. Сотрудница коннектикутской опытной станции С. Анагностакис идентифицировала гены, обуславливающие вегетативную совместимость у *Cryphonectria parasitica*. Она показала, что чем сильнее генетически различаются два штамма, тем менее вероятно образование анастомозов между их гифами. Ее работа положила начало классификации вирулентных грибов на вегетативно совместимые группы. Если гиповирулентные штаммы образовывали гифальные мостики с представите-

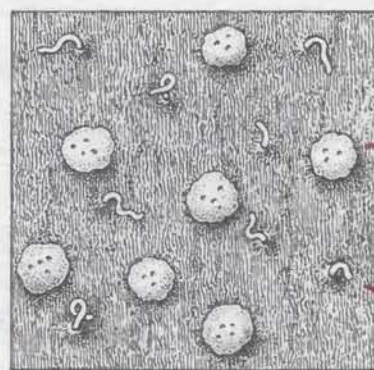
лями той или иной группы, обработка ими участков некроза, как правило, давала положительный результат.

Между тем в 1976 г. в насаждениях зубчатого каштана в западной части шт. Мичиган вне зоны его естественного распространения (а позднее и в пределах этой зоны) были найдены местные гиповирулентные штаммы. Сможет ли зубчатый каштан в Америке восстановиться самостоятельно подобно европейскому каштану в Италии? Но ни заражение гиповирулентными штаммами, ни естественная гиповирулентность не останавливают *Cryphonectria parasitica*. В США в районах, пораженных грибом, пока что ни один экземпляр зубчатого каштана не достигал зрелого возраста.

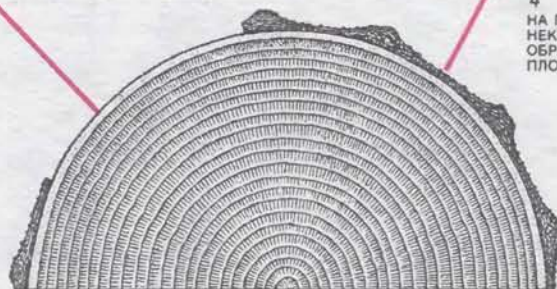
Почему же состояние американского каштана хуже, чем европейского? Возможно, все дело в сроках: в Италии гиповирулентность у *Cryphonectria parasitica* возникла спустя 12 лет после того, как там был впервые замечен рак коры каштана, а в США — только через 72 года. За это время американский гриб дифференцировался на более чем 100 вегетативно совместимых групп. В Италии же таких



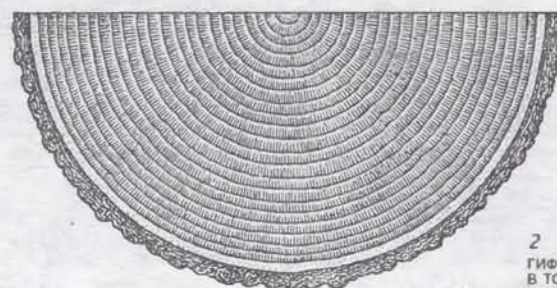
3
ИНФЕКЦИЯ
РАСПРОСТРАНЯЕТСЯ
ПОД КОРОЙ



4
НА ПОВЕРХНОСТИ
НЕКРОТИЧЕСКИХ УГЛУБЛЕНИЙ
ОБРАЗУЮТСЯ
ПЛОДОВЫЕ ТЕЛА ГРИБА



2
ГИФА ПРОНИКАЕТ
В ТОЛЩУ ДЕРЕВА
ЧЕРЕЗ ПОВРЕЖДЕНИЯ В КОРЕ



ЦИКЛ БОЛЕЗНИ начинается с попадания споры *Cryphonectria parasitica* на кору дерева (1). Из споры вытягивается нитевидная гифа, которая прорастает через повреждения коры (2). Инфекция распространяется по камбию (3) и образуются некротические углубления. Размножение гриба (4—6) осуществляется половым и бесполом путем. Половые споры — аскоспоры — разносятся ветром на большие расстояния (7). Споры бесполого размножения — конидии — переносятся на соседние деревья на конечностях насекомых и птиц (8). Кроме того, конидии смываются дождевыми каплями вниз по стволу, и возникают новые очаги инфекции. Дерево гибнет из-за того, что блокируется обмен водой и солями между листьями и корнями (9). За 50 лет гриб покорил всю зону естественного распространения зубчатого каштана в США (показано на карте вверху справа).

групп было всего несколько, благодаря чему, вероятно, быстро распространилась гиповирулентность.

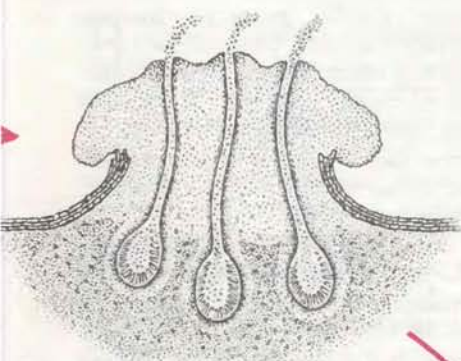
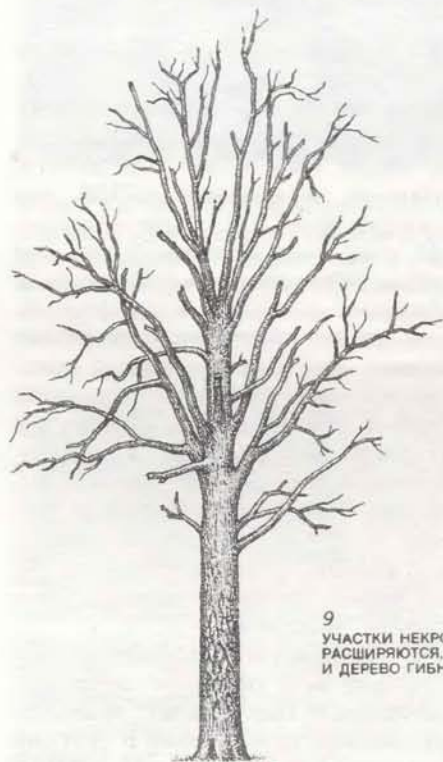
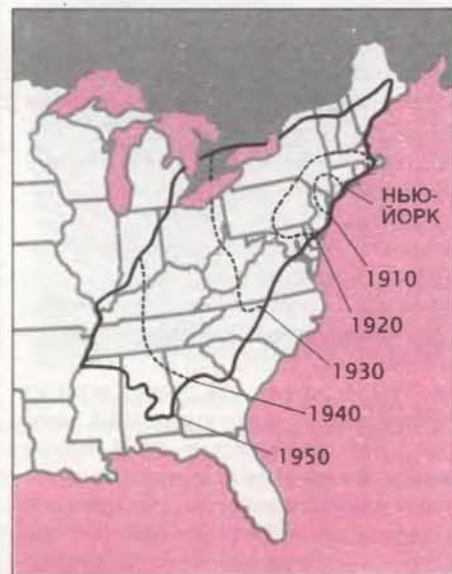
ХОТЯ ДО последнего времени гриб-паразит отражал все попытки его искоренения, новые успехи биотехнологии дают надежду на победу в этой войне. Первый прорыв произошел в 1975 г., когда Ван Альфен и его коллеги доказали, что при образовании гифальных анастомозов ядерный материал не передается от гиповирулентного штамма к вирулентному и, следовательно, фактор гиповирулентности должен находиться в цитоплазме.

Позднее в том же году было сделано еще одно важное открытие. Р. Листер из Университета Пардю и работавший у него студент Э. Моффит обнаружили в цитоплазме двух гиповирулентных штаммов из Европы двухцепочную РНК (дцРНК), являющуюся носителем генетической информации у многих вирусов грибов. В вирулентных же штаммах из Европы и США такой РНК не оказалось. Через 2 года П. Дей с сотрудниками на коннектикутской опытной станции, под-

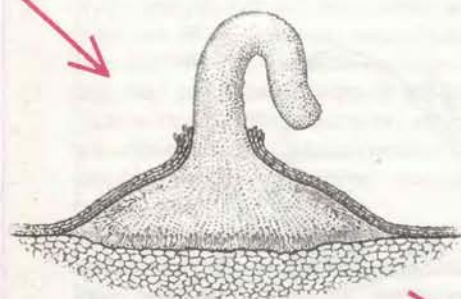
твердив результаты Листера и Моффита, нашли дцРНК в гиповирулентных штаммах *Cryphonectria parasitica* из Северной Америки. Кроме того, они показали, что у некоторых гиповирулентных штаммов имеется более одного сегмента дцРНК. С тех пор идентифицированы гиповирулентные штаммы, имеющие до 10 сегментов дцРНК различной длины. Однако связи между каким-либо сегментом дцРНК и наличием гиповирулентности пока не выявлено.

И все же роль дцРНК в появлении гиповирулентности несомненна: пере-

дача свойства гиповирулентности от одного штамма к другому всегда сопровождается переносом дцРНК, а удаление дцРНК неизменно приводит к возврату в вирулентное состояние. Итак, причина и результат стали ясны, чего еще нельзя было сказать о механизме.



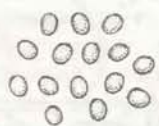
5
СТАДИЯ ПОЛОВОГО РАЗМНОЖЕНИЯ



6
СТАДИЯ БЕСПОЛОГО РАЗМНОЖЕНИЯ



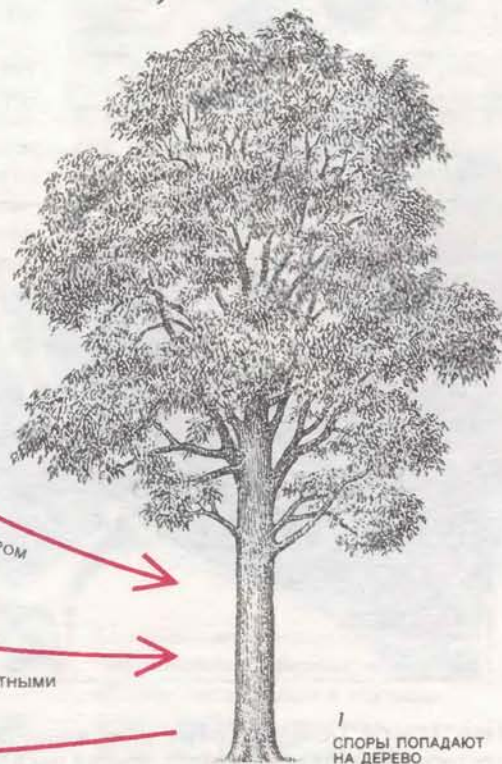
7
АСКСПОРЫ



8
КОНИДИИ

ПЕРЕНОСЯТСЯ ВЕТРОМ

ПЕРЕНОСЯТСЯ ЖИВОТНЫМИ
И ДОЖДЕМ



1
СПОРЫ ПОПАДАЮТ
НА ДЕРЕВО

Первым шагом на пути выяснения механизма гиповирулентности было установление происхождения диРНК. Представлялось наиболее вероятным, что ее источником являлись вирусы, поскольку у большинства вирусов грибов носителем генетической информации служит диРНК. В 1978 г. Дж. Доддс, работавший тогда на коннектикутской опытной станции, впервые продемонстрировал присутствие вирусоподобной частицы (ВПЧ) в гиповирулентном штамме. Из европейского гиповирулентного штамма он выделил булавовидные частицы длиной 100 нм и обнаружил связанную с ними диРНК.

Позднее сходные частицы были выделены и из других европейских гиповирулентных штаммов. Однако в вирулентных штаммах из Европы и США и в гиповирулентных штаммах из Северной Америки их не обнаружили. Тем не менее, как станет ясно из дальнейшего, есть основания считать, что присутствие ВПЧ всегда связано с гиповирулентностью.

Многое могло прояснить уточнение локализации ВПЧ в цитоплазме гриба. Но долгое время этого сделать не удавалось, так как наблюдать ВПЧ *in situ* трудно из-за плохой сохранности тонких субклеточных структур при

обычных методах химической фиксации. В 1981 г. мне пришла мысль для получения качественных электронных микрофотографий клеточных структур воспользоваться методом замораживания с последующим замещением, который состоит в том, что образец фиксируют путем быстрого замораживания и затем пропитывают химическими веществами, удаляющими из тканей воду и таким образом стабилизирующими цитоплазму вместе с содержимым. Затем образец заключают в смолу и изготавливают срезы, которые после окрашивания можно изучать под просвечивающим электронным микроскопом.

Я ОБНАРУЖИЛ ВПЧ в гифах и конидиях европейских и североамериканских гиповирулентных штаммов *Cryphonectria parasitica*; в генетически идентичных вирулентных штаммах, не имеющих диРНК, они отсутствовали. Хотя такие сферические покрытые мембраной частицы мельче ВПЧ, описанных Доддсом, и обладают несколько иной формой, это, скорее всего, одно и то же: во-первых, при просвечивающей электронной микроскопии изолированные частицы всегда выглядят крупнее, чем на срезах ткани; во-вторых, цитохимическими методами было показано, что частицы содержат нуклеиновую кислоту и окружены липидной мембраной, которая легко повреждается, так что форма частиц могла исказиться в процессе выделения.

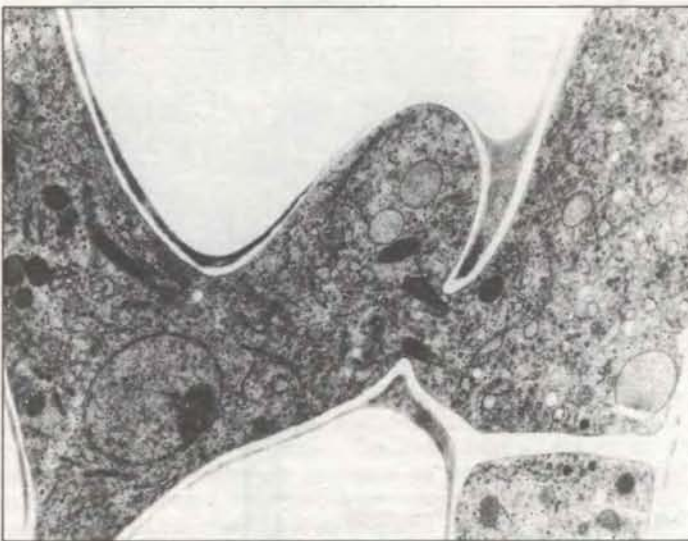
У европейских гиповирулентных штаммов ВПЧ образуют скопления, окруженные гранулярным эндоплазматическим ретикуломом и другими элементами клетки, участвующими в биосинтезе. У североамериканских штаммов ВПЧ рассеяны по всей ци-

топлазме, чем, возможно, и объясняются прежние неудачные попытки извлечь их из гиф.

Единственный обычный клеточный компонент *Cryphonectria parasitica*, на который похожи ВПЧ, — это апикальные пузырьки, которые участвуют в образовании клеточной мембраны и стенки в растущих участках гиф. Такое сходство позволяет предположить, что механизм роста приспособлен для иной функции — защиты гриба от чужой нуклеиновой кислоты, а именно диРНК. Согласно этой гипотезе, ВПЧ являются конечным продуктом изолирования диРНК путем заключения их внутрь структур, образованных из предшественников клеточной оболочки. В конце концов ВПЧ мигрируют к мембране клетки и сливаются с ней, высвобождая свое содержимое наружу. Так клетка избавляется от диРНК.

Но если диРНК фактически нейтрализуется в ВПЧ, чем же обусловлены морфологические перестройки в штаммах, содержащих диРНК? Возможно, значительная часть диРНК у гиповирулентных штаммов вообще не блокируется внутри ВПЧ, а свободно перемещается в цитоплазме подобно вирионам. По мнению Ван Альфена, диРНК является геномом дефектного вируса, утратившего способность к образованию капсида (белковой оболочки вириона). Во всяком случае, диРНК, связанная с гиповирулентностью, занимает уникальное место среди биологических агентов, заражающих грибы.

С помощью метода замораживания — замещения я изучал гифальные анатомозы у различных штаммов *Cryphonectria parasitica* и впервые удалось подтвердить, что между гифами вегетативно совместимых



АНАСТОМОЗ между гифами двух штаммов гриба, вирулентного и гиповирулентного, через 4 часа после его образования. Через этот мостик может происходить обмен

внутриклеточным содержимым. В анастомозе и гифах вирулентного штамма видны вирусоподобные частицы (ВПЧ); значит, двухцепочечная РНК в него уже перешла.

штаммов действительно возникают непрерывные цитоплазматические мостики. Кроме того, я обнаружил у вирулентного штамма ВПЧ в анастомозе всего через 4 часа после начала его образования (см. иллюстрацию на с. 68). У несовместимых штаммов также начинается образование мостиков, но затем цитоплазма дегенерирует, что блокирует переход дцРНК и тем самым свойства гиповирулентности от одного штамма к другому.

Приемы и методы молекулярной биологии позволили раскрыть некоторые тайны гиповирулентности. Группа исследователей под руководством Р. Родса из Кентуккийского университета осуществила гибридизацию дцРНК из разных гиповирулентных штаммов (т. е. отдельные цепи двух различных дцРНК связывались, образуя гибридные двухцепочечные молекулы), что свидетельствует об их близком родстве. Однако гибридизация имела место только тогда, когда оба штамма происходили с одного материка — Европы или же Северной Америки. По-видимому, гиповирулентность возникла на этих материках независимо и с ней связаны две различные группы дцРНК.

В ПОСЛЕДУЮЩИХ экспериментах по гибридизации были обнаружены два гиповирулентных штамма из шт. Мичиган, дцРНК которых не связывалась с дцРНК многих других штаммов американского происхождения. Следовательно, у гиповирулентного гриба может быть много неродственных видов дцРНК, по крайней мере на территории США. В то же время другие аналогичные исследования показали, что у некоторых гиповирулентных штаммов множественные сегменты дц РНК родственны между собой. На основании этого Д. Насс (работавший в Институте молекулярной биологии в Натли, шт. Нью-Джерси) предположил, что дцРНК генетически гораздо проще, чем кажется на первый взгляд. В таком случае, быть может, не столь уж сложно идентифицировать гены, определяющие свойство гиповирулентности.

Чтобы выявить сегмент или комбинацию сегментов дцРНК, определяющие гиповирулентность, необходимо сначала выяснить, каким образом дцРНК оказывает свое влияние на клетку. Для этого исследователи из Института молекулярной биологии в Натли вначале определили нуклеотидную последовательность одной цепи дцРНК из европейского гиповирулентного штамма. Осуществив *in vitro* трансляцию части этой цепи, они получили белок молекулярной массой 29 килодальтон.



УЧАСТКИ НЕКРОЗА на стволе каштана, называемые раком или ожогами коры, вызваны вирулентным штаммом *Cryphonectria parasitica*. По мере распространения инфекции по дереву такие участки растут и множатся, что в конечном счете приводит к его гибели (слева). Если участок некроза обработать гиповирулентным штаммом, вирулентность гриба снижается. Теперь дерево может изолировать инфекцию наплывом каллюсной ткани (справа).

В настоящее время с целью выяснить роль белков — продуктов дцРНК в гиповирулентности у *Cryphonectria parasitica* используется фермент обратная транскриптаза, при помощи которой можно синтезировать ДНК-копии содержащихся в дцРНК генов, определяющих синтез отдельных белков. Затем эти ДНК вводят в вирулентные штаммы (осуществляют трансформацию) и таким образом устанавливают, какую функцию выполняет тот или иной белок.

Эта информация позволяет ответить на важный вопрос: обуславливают ли клеточные механизмы гиповирулентности ослабление способности к размножению? Если нет, то можно попытаться, используя методы генетической инженерии, создать штаммы, не вызывающие гибели каштанов, но выдерживающие конкуренцию с вирулентными штаммами в природе. Возможен иной путь: выявить генетические детерминанты вегетативной несовместимости штаммов и тогда быть может, удастся придать свойство гиповирулентности всем штаммам *Cryphonectria parasitica*. В этом направлении есть обнадеживающие данные: недавно обнаружены гиповирулентные штаммы — «мультиконвертеры», которые обладают способностью передавать это свойство представителям нескольких вегетативно совместимых групп гриба.

Помочь американской популяции зубчатого каштана можно также путем селекции деревьев на устойчивость к грибу-паразиту. Сейчас зубча-

тый каштан скрещивают с родственными формами из Азии, которые более устойчивы, и выращивают полученные гибриды в американской популяции. Цель этой работы — соединить положительные свойства исходных форм: красоту американского каштана и устойчивость азиатского. Ведутся также поиски не пораженных грибом экземпляров зубчатого каштана, особенно в лесах Северной Каролины и Виргинии. Черенки от таких деревьев прививают на корневую поросль устойчивых деревьев. Конечно, при всей необходимости селекции результаты ее появятся нескоро. Но и в эту работу молекулярная биология может внести свой вклад, если удастся идентифицировать гены устойчивости и включить их в зародыши семян, которые дадут начало устойчивым формам зубчатого каштана.

Но никакие меры не смогут в одночасье вернуть этому дереву былой расцвет, потому что другие породы давно заняли его место в природе. Однако возвращение зубчатого каштана в парки и скверы — заветная мечта его американских поклонников — вполне реально. Тогда окажется, что Роберт Фрост был близок к истине:

*Погубит ли каштаны рак?
Тает надежду фермер на
Жизнь, что тлеет у корней,
Ввысь посылая сыновей.
И только новый паразит
Рак навеки поразит.*

Теория Рамсея

Талантливый математик Фрэнк Пламpton Рамсей доказал, что полная неупорядоченность невозможна. Каждое достаточно большое множество чисел, точек или объектов обязательно содержит высоко упорядоченную структуру

РОНАЛЬД Л. ГРЭМ, ДЖОУЭЛ Х. СПЕНСЕР

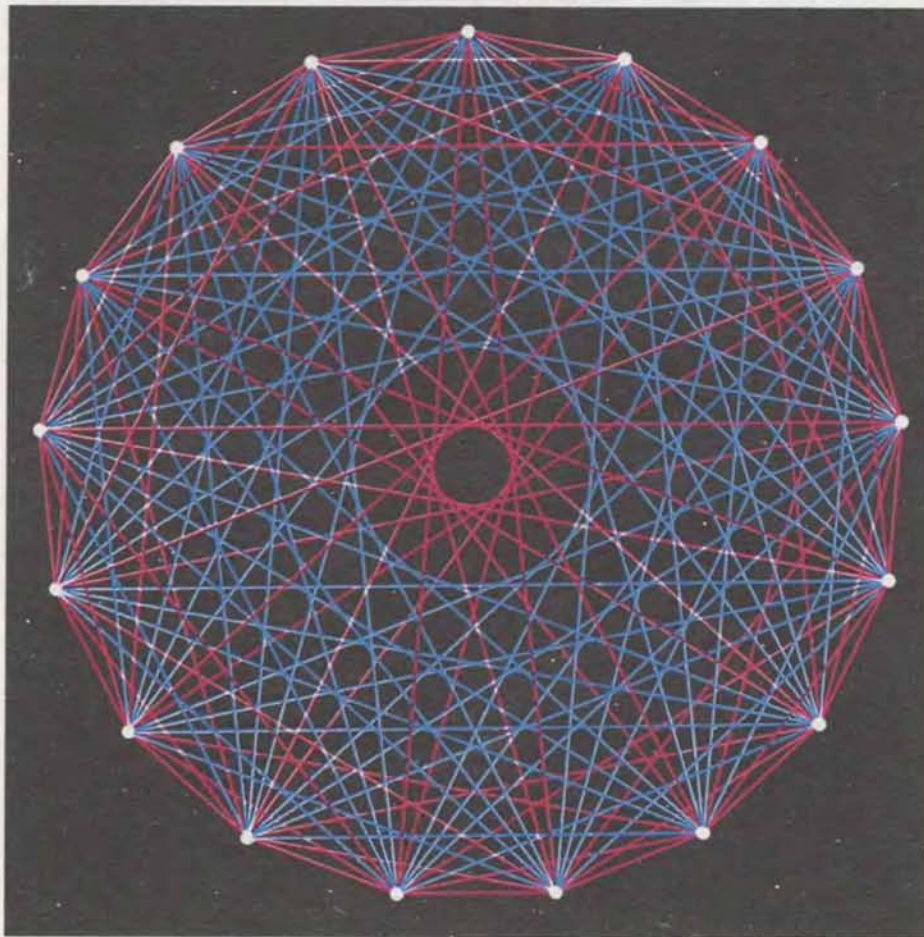
КАК ПОВЕСТВУЕТ написанный три с половиной тысячи лет назад клинописный текст, однажды древнешумерский ученый взглянул на звездное небо и увидел льва, буйвола и скорпиона. Современный астроном скорее всего склонен описывать созвездие как временную

группу звезд, которую мы, земляне, наблюдаем с одной точки на краю обычной галактики. И все же большинство любителей поглазеть на звезды согласятся, что ночное небо выглядит сплошь усыпанным созвездиями, имеющими форму прямых линий, четырехугольников и пятиуголь-

ников. Может ли так быть, что подобные геометрические фигуры порождаются какими-то неизвестными нам силами, действующими во Вселенной?

Математика предлагает куда более простое объяснение. В 1928 г. Фрэнк Пламpton Рамсей, английский математик, философ и экономист, доказал, что такие упорядоченные конфигурации неизбежно присутствуют в любой большой структуре, будь то группа звезд, совокупность случайно разбросанных камешков или последовательность чисел, полученных бросанием игральной кости. Если речь идет о достаточно большом количестве звезд, то всегда можно найти группу, которая с очень большой точностью образует какую-нибудь заданную конфигурацию: прямую линию, прямоугольник или, если уж мы заговорили о звездах, большой ковш. Фактически теория Рамсея утверждает, что любая структура обязательно содержит упорядоченную подструктуру. Как впервые провозгласил около четверти века назад умерший недавно американский математик Теодор С. Моцкин, из теории Рамсея следует, что полный беспорядок невозможен.

Специалисты по теории Рамсея стараются вычислить, сколь велико должно быть множество звезд, чисел или каких-либо объектов, чтобы можно было гарантировать существование определенной желаемой подструктуры. На решение таких задач часто требуются десятилетия, и поддаются они только при самом изобретательном и тонком рассуждении. Пытаясь найти решения поставленной задачи, специалисты по теории Рамсея помогают тем самым инженерам в построении более совершенных сетей коммуникации и систем передачи и поиска информации. Они также открыли некоторые математические методы, которые пригодятся ученым следующего столетия. Возможно, самое важное заключается в том, что теория Рамсея исследует основополагающую структуру математики, т. е. структуру, пронизывающую всю Вселенную.



ГОЛОВОЛОМКА О ВЕЧЕРИНКЕ представляет собой задачу, типичную для приложений теории Рамсея. Какое количество людей достаточно для того, чтобы образовать группу, в которой всегда окажется либо четверо людей, знакомых друг с другом, либо четверо, друг с другом незнакомых? На этом рисунке гости представлены точками. Каждое красное ребро на этом графе соединяет гостей, знакомых друг с другом, а каждое синее — незнакомых. В группе из 17 точек, изображенных на рисунке, невозможно найти четыре точки, для которых сеть соединяющих их ребер была бы целиком красной или целиком синей. Поэтому требуется более 17 человек, чтобы среди них обязательно оказалось либо четверо знакомых, либо четверо незнакомых друг с другом. На самом деле во всякой группе из 18 человек всегда найдутся либо четверо знакомых, либо четверо незнакомых друг с другом.

В ОТЛИЧИЕ от многих разделов современной математики теорию Рамсея можно изложить на интуитивном уровне. В самом деле, привлекательность этой теории отчасти обусловлена той простотой, с которой можно сформулировать ее задачи. Например, если из присутствующих на вечеринке случайным образом выбрать шесть человек (скажем, Альфреда, Бетти, Кэлвина, Дебору, Эдварда и Фрэнсис), то верно ли, что либо трое из них друг с другом знакомы, либо трое из них незнакомы друг с другом?

Мы можем решить эту «головоломку о вечеринке» многими способами. Мы могли бы перебрать все мыслимые комбинации и проверить, содержит ли каждая рассматриваемая группа трех знакомых или трех незнакомых людей. Но поскольку нам пришлось бы проверить 32 768 (или 2^{15}) комбинаций, то такой «метод грубой силы» не является ни практичным, ни поучительным.

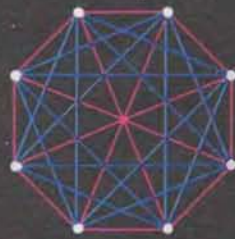
К счастью, мы можем отыскать ответ, рассмотрев два простых случая. В первом из них предположим, что Альфред знает трех (или больше) из числа остальных гостей, скажем, Бетти, Кэлвина и Дебору. Если Бетти и Кэлвин, или Бетти и Дебора, или Кэлвин и Дебора знакомы друг с другом, то Альфред и пара знакомых образуют группу из трех знакомых людей; в противном случае Бетти, Кэлвин и Дебора друг с другом незнакомы. Во втором случае предположим, что Альфред знает самое большее двух (или меньше) из гостей, скажем, Бетти и Кэлвина. Если Дебора и Эдвард, или Дебора и Фрэнсис, или Эдвард и Фрэнсис незнакомы друг с другом, то Альфред и пара незнакомых между собой гостей образуют группу из трех человек, незнакомых друг с другом. В противном случае Дебора, Эдвард и Фрэнсис друг с другом знакомы. Всего в шести предложениях мы доказали, почему любая группа из шести человек должна включать или трех знакомых, или трех незнакомых людей. Короче говоря, решение «головоломки о вечеринке» есть частный случай теории Рамсея.

Обобщая этот частный случай, мы можем сформулировать теорему в ее полном виде. Вместо шести человек, как в этой задаче, мы можем взять любое число людей или, если хотите, любое число объектов. Кроме того, нет нужды ограничиваться двумя типами отношений, знакомства и незнакомства. Мы можем взять любое число взаимоисключающих отношений — например друзья, враги и соблюдающие нейтралитет.

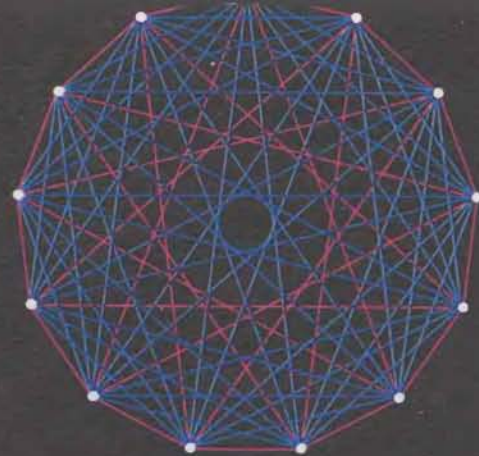
Теорию Рамсея можно сформулировать в еще более общем виде. Если



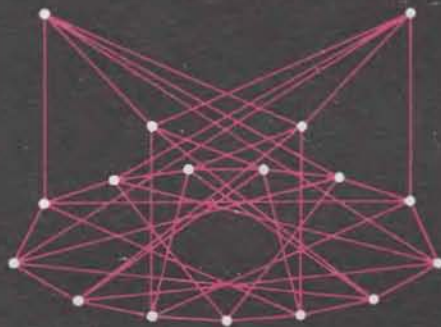
$$5 < R(3,3) = 6$$



$$8 < R(3,4) = 9$$



$$13 < R(3,5) = 14$$



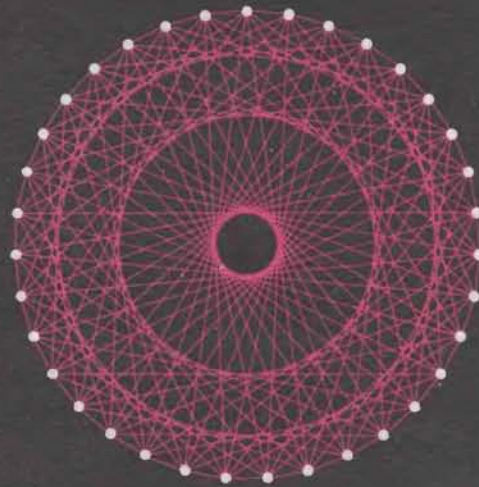
$$17 < R(3,6) = 18$$



$$22 < R(3,7) = 23$$

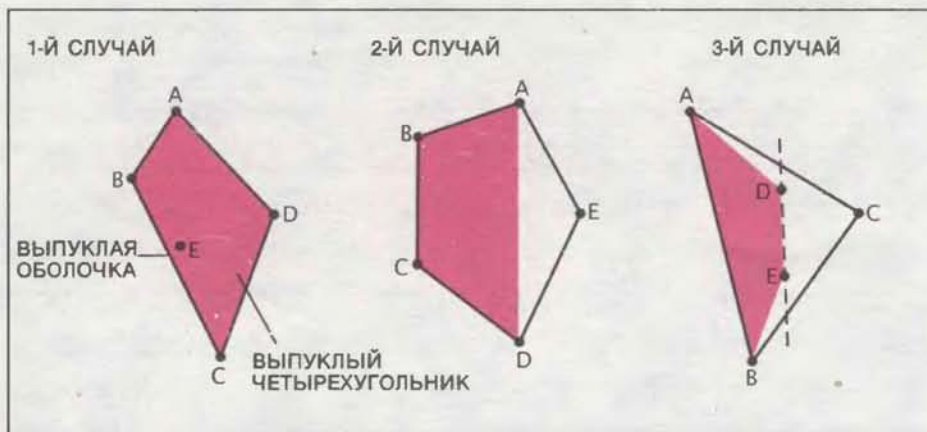


$$27 < R(3,8) = 29$$



$$35 < R(3,9) = 36$$

ЧИСЛА РАМСЕЯ определяются как наименьшее значение n , для которого в любой группе из n точек либо некоторая группа из j точек образует полную сеть красных ребер, либо некоторая группа из k точек образует полную сеть синих ребер. Рисунки показывают, как велико должно быть конкретное число Рамсея. На первой диаграмме изображены пять точек, соединенные красными и синими ребрами таким способом, что никакие три точки не образуют ни красной, ни синей полной сети. Следовательно, из первой диаграммы можно вывести, что число Рамсея для трех красных и трех синих больше пяти. Аналогично можно утверждать, что из второй диаграммы следует, что число Рамсея для трех красных и четырех синих больше восьми. Другими более сложными методами можно показать, что число Рамсея для трех красных и трех синих равно шести, а число Рамсея для трех красных и четырех синих равно девяти. Все точно известные числа Рамсея приведены выше, кроме числа Рамсея для четырех красных и четырех синих, диаграмма для которого изображена на предыдущей странице. (На некоторых диаграммах синие ребра для простоты не показаны.) Относительно числа Рамсея для трех красных и восьми синих было доказано, что оно больше 27 и меньше или равно 29. Недавно было показано (но пока не подтверждено), что оно равно 28.



ТЕОРИЯ РАМСЕЯ была заново открыта в 1933 г., когда молодая студентка Эстер Клейн предложила следующую геометрическую задачу: доказать, что если пять точек расположены на плоскости и никакие три из них не лежат на одной прямой, то какие-нибудь четыре из них всегда образуют выпуклый четырехугольник. Любая конфигурация, удовлетворяющая условиям задачи, относится к одному из трех случаев, показанных на рисунке. Простейший случай — тот, когда выпуклая оболочка (т. е. выпуклый многоугольник, охватывающий все точки) есть четырехугольник. Если выпуклая оболочка является пятиугольником, то любые четыре точки можно соединить так, что они образуют четырехугольник. Треугольная выпуклая оболочка всегда содержит внутри две точки; здесь — D и E . Линия DE делит треугольник на две части так, что две точки, A и B , лежат по одну сторону от нее. Четыре точки $ABCD$ должны образовывать выпуклый четырехугольник.

число объектов в совокупности достаточно велико и каждые два объекта связывает одно из набора отношений, то всегда существует подмножество данной совокупности, содержащее заданное число объектов, и при этом такое, что в нем все объекты связаны отношением одного типа.

Фрэнк Рамсей, впервые доказавший это утверждение в 1928 г., вырос в Кембридже (Англия). Его отец, Артур С. Рамсей, был профессором математики и президентом колледжа Магдалины Кембриджского университета. В 1925 г. молодой Рамсей, признанный самым лучшим студентом в области математики, окончил университет. Хотя больше всего его интересовали философия и математическая логика, он также писал работы по экономике, теории вероятности, принятию решений, когнитивной психологии и семантике.

Вскоре после окончания университета он вошел в группу экономистов, которую возглавлял Джон Мэйнард Кейнс. Рамсей написал лишь две статьи по математической экономике, но обе до сих пор широко цитируются. Что касается философии, то его вдохновляли идеи Джорджа И. Мура, Людвиг Витгенштейна и Бертрана Рассела. Мур писал: «Он необычайно ясно мыслит: никто не мог легче его избежать тех логических погрешностей, от которых несвободны даже лучшие философы». Затем произошла трагедия: в 1930 г. Рамсей заболел и в 26 лет умер от осложнений после операции.

Есть некая ирония в том, каким образом за два года до смерти Рамсей вывел теорию, ныне называемую его именем. Он пришел к основной идее, пытаясь доказать тезис, выдвинутый Расселом и Альфредом Нортум Уайтхедом в их основополагающем труде «Principia Mathematica» (Основы математики). Они предположили, что все математические истины могут быть выведены из ограниченного набора аксиом. Развивая эту идею, немецкий математик Давид Гильберт предположил, что должна существовать процедура, позволяющая решить, следует ли то или иное утверждение из данного набора аксиом или нет. Рамсей показал, что в некотором частном случае такая процедура принятия решения существует. (Спустя несколько лет Курт Гёдель и его последователи, англичанин Алан Тьюринг и другие, исчерпывающим образом доказали, что в общем случае такой процедуры не существует.)

Рамсей доказал свою теорему в качестве первого шага, пытаясь продемонстрировать справедливость тезиса Рассела в специальном случае. Как оказалось, он мог бы выполнить эту задачу другими средствами. Ранее Рамсей доказал теорему, не имеющую отношения к тезису, который он обосновал и который он никогда бы не смог доказать в общем случае.

ТАК ОБСТОЯЛИ дела до 1933 г., когда два венгерских математика, Пауль Эрдэш и Джордж Шекереш, заново открыли теорию Рамсея. В ос-

новном благодаря их усилиям эта теория стала популярной в среде математиков. В то время Эрдэш был девятинадцатилетним студентом Будапештского университета, а Шекереш незадолго до этого получил диплом инженера-химика в Будапештском политехническом институте. Вместе с группой друзей-студентов они почти каждое воскресенье встречались в загородном парке, в основном для разговоров о математике.

Зимой 1933 г. одна из студенток, Эстер Клейн, предложила друзьям решить любопытную задачу; доказать, что если пять точек на плоскости расположены таким образом, что никакие три точки не лежат на одной прямой, то обязательно найдутся четыре из них, образующие выпуклый четырехугольник. (К выпуклым фигурам относится, скажем, правильный шестиугольник, но не относится пятиконечная звезда. Более строго, многоугольник называется выпуклым, если всякий отрезок, соединяющий его вершины, лежит внутри этого многоугольника.)

Позволив друзьям вдоволь поразмышлять над этой задачей, Клейн представила доказательство (см. рисунок слева). Эрдэш и Клейн быстро нашли обобщение исходной задачи. Они поняли, что пять из девяти точек на плоскости всегда образуют выпуклый пятиугольник. Тогда они предложили новую задачу: если число точек на плоскости равно $1 + 2^{k-2}$, где $k = 3, 4, 5 \dots$ и т. д., то можно ли всегда выбрать k точек, образующих выпуклый k -угольник?

В своих воспоминаниях Шекереш так описывает последующие события: «Мы вскоре осознали, что простые рассуждения не подходят, и появилось волнующее чувство, что в нашем кружке впервые возник новый тип геометрических задач». Шекереш показал, что существует такое число n , что если n точек лежат на плоскости так, что никакие три из них не находятся на одной прямой, то среди них всегда можно найти k точек, образующих выпуклый k -угольник. Другими словами, если точек достаточно много, всегда можно найти их подмножество, образующее многоугольник с заданным числом сторон. Доказав это, Шекереш заново открыл теорему Рамсея, хотя никто из их группы в то время не знал о ней.

В 1934 г. Эрдэш и Шекереш опубликовали свои результаты, хотя ни они, ни кто-либо другой до сих пор не смогли доказать гипотезу Эрдэша о том, что числа точек $n = 1 + 2^{k-2}$ достаточно. Эрдэш часто называет эту совместную публикацию «статьей со счастливым концом», поскольку вскоре после ее опубликования Шеке-

реш и Клейн поженились. Эрдёш же стал самым продуктивным математиком нашего столетия.

Эрдёш заинтересовался идеей Рамсея о том, что всякая достаточно большая структура должна содержать регулярную подструктуру заданного размера. Но ему хотелось узнать, какого именно размера должна быть эта структура, чтобы существование определенной подструктуры было гарантировано. Так Эрдёш начал работать над вариантом головоломки о вечеринке.

В этом варианте шесть человек представлены шестью точками. Для удобства точки располагаются на плоскости так, чтобы никакие три из них не лежали на одной прямой. Точки соединяются ребром, которое окрашивается, чтобы представить отношения между соответствующими двумя людьми. Красное ребро означает, что эти люди между собой знакомы, а синее ребро — что они друг друга не знают.

Следовательно, если три человека знакомы друг с другом, то ребра между соответствующими точками образуют красный треугольник, а если эти трое незнакомы, то образуется синий треугольник. Головоломку о вечеринке тогда можно сформулировать так: верно ли, что если каждое ребро, соединяющее любые две из шести точек, окрасить в синий или красный цвет произвольным образом, то всегда возникает либо синий, либо красный треугольник?

Задача, которую изучал Эрдёш, представляет собой обобщение этой задачи. Он определил полную сеть как набор точек, каждая из которых соединена ребрами со всеми остальными. Затем он задался вопросом: какова наименьшая полная сеть, которая будучи произвольным образом раскрашена в красный и синий цвет, обязательно содержит полную сеть красного или синего цвета? Ответ следующий: полная сеть — из шести точек. Эту задачу и ее решение удобнее выразить так: число Рамсея (R) для трех красных и трех синих равно шести.

А как насчет числа Рамсея для пяти красных и трех синих? Другими словами, какова наименьшая полная сеть, которая будучи произвольным образом раскрашена в красный и синий цвет, обязательно содержала бы либо красную сеть из пяти точек, либо синюю сеть из трех точек? Число Рамсея для пяти красных и трех синих равно 14, что доказали только в 1955 г. Роберт Гринвуд из Университета шт. Техас в Остине и Эндрю Глисон из Гарвардского университета.

Числа Рамсея чрезвычайно трудно вычислять. Усилиями поколений математиков и компьютеров удалось

найти лишь семь чисел Рамсея, которые приведены на рисунке на стр. 71. Чтобы наглядно продемонстрировать трудность вычисления чисел Рамсея, Эрдёш часто рассказывает следующий анекдот. Инопланетяне вторглись на Землю и угрожают уничтожить ее через год, если человечество не сможет найти число Рамсея для пяти красных и пяти синих. Мы могли бы мобилизовать лучшие умы и самые быстродействующие компьютеры, и тогда в течение года мы, возможно, сумели бы найти искомое значение. Однако если бы инопланетяне потребовали от нас найти число Рамсея для шести красных и шести синих, то у нас не осталось бы иного выбора, как нанести упреждающий удар.

Эрдёш все же нашел способ получить некоторое представление о том, насколько большим должно быть число Рамсея. Что если он сможет найти красно-синюю раскраску большей полной сети, не содержащую ни красной, ни синей сети из трех точек? Такая раскраска полной сети из пяти точек показана на стр. 71. Отсюда следует, что число Рамсея для трех красных и трех синих должно быть больше пяти. Пять есть нижняя граница для этого числа Рамсея.

В 1947 г. Эрдёш предложил необычный метод отыскания нижней границы любого числа Рамсея: бросание монеты. Он предпринял мысленный

эксперимент, в котором каждое ребро полной сети из, скажем, миллиона точек окрашивалось в соответствии с результатом бросания «настоящей» монеты (т. е. монеты, для которой вероятность выпадения орла или решки строго одинакова и равна 1/2. — *Перев.*). Ребро окрашивается в красный цвет, если выпадает решка, и в синий, если выпадает орел. Затем он попытался доказать, что число Рамсея, скажем, для 34 красных и 34 синих больше миллиона. Эксперимент считается успешным, если в результате такой случайной раскраски не образуется ни красной, ни синей сети из 34 точек.

Как бы он мог гарантировать успех? Любые 34 точки соединяются 561 ребром. Если первое бросание предписывает синий цвет для первого ребра, то для получения синей сети необходимо, чтобы следующие 560 бросаний тоже предписывали синий цвет. Вероятность того, что это произойдет, равна 1/2 в степени 561. Вероятность появления красной сети точно такая же, так что общая вероятность возникновения одноцветной сети вдвое больше, или примерно $2,6 \times 10^{-169}$.

Теперь вспомним, что число наборов из 34 точек, выбранных из миллиона точек, равно $(1000000 \times 999999 \times \dots \times 999967)$, деленное на $(34 \times 33 \times \dots \times 2 \times 1)$, что примерно равно $3,4 \times 10^{165}$. Тем самым можно

Теория Рамсея и арифметические прогрессии

Арифметическая прогрессия — это последовательность чисел, в которой разность между соседними членами остается постоянной. Например, 7, 10, 13, 16 — это арифметическая прогрессия, в которой разность между соседними членами равна трем. Из теории Рамсея следует такое утверждение об арифметических прогрессиях: если каждое число от 1 до 9 покрасить в красный или синий цвет, то либо три синих числа, либо три красных образуют арифметическую прогрессию.

Чтобы доказать это утверждение, мы могли бы проверить все 512 способов раскраски девяти чисел. Но мы можем доказать его, рассмотрев только два случая. Начнем со случая, в котором 4 и 6 имеют одинаковый цвет, скажем синий.

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Чтобы избежать синей арифметической прогрессии 4, 5, 6, мы покрасим 5 в красный цвет.

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Чтобы избежать синих арифметических прогрессий 2, 4, 6 и 4, 6, 8, мы покрасим 2 и 8 в красный цвет.

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Но тогда у нас получится красная арифметическая прогрессия 2, 5, 8. Итак, если 4 и 6 имеют одинаковый цвет, то всегда получится либо красная, либо синяя арифметическая прогрессия. Теперь рассмотрим случай, когда 4 и 6 имеют различный цвет. Число 5 можно покрасить как угодно, не создав при этом арифметической прогрессии, так что мы произвольно покрасим 5 в красный цвет.

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Продолжим раскрашивание следующим образом:

3, чтобы избежать	3 4 5	9, чтобы избежать	3 6 9
7, чтобы избежать	5 7 9	8, чтобы избежать	6 7 8
2, чтобы избежать	2 5 8	1, чтобы избежать	1 2 3

Такое раскрашивание дает последовательность

1 2 3 4 5 6 7 8 9

Но в ней все равно осталась красная арифметическая прогрессия 1, 5, 9. Таким образом, независимо от того, в одинаковый или в разные цвета окрашены 4 и 6, всегда имеется либо синяя, либо красная арифметическая прогрессия.

ожидать, что из всех возможных полных сетей из 34 точек одноцветными будут $3,4 \times 10^{165} \times (2,6 \times 10^{-169})$, или приблизительно 0,001. И так, в 99,9% случаев мысленный эксперимент будет успешным, одноцветные наборы из 34 точек не возникнут.

Затем Эрдеш применил тонкое доказательство от противного. Он предположил, что никакая схема раскраски не является успешной. Тогда мысленный эксперимент будет иметь нулевую вероятность успеха, что, как ему уже известно, не соответствует действительности. Значит, это предположение должно быть ошибочным, т.е. *должна* существовать успешная схема раскраски (не с вероятностью 99,9%, а с абсолютной достоверностью). Существование такой раскраски означает, что один миллион является нижней границей для 34 красных и 34 синих.

Такое рассуждение, известное как вероятностный метод, дает наилучшие нижние оценки для чисел Рамсея. Однако этот метод не содержит никаких указаний на то, как в действительности следует производить желаемую раскраску. В попытках получить такие раскраски исследователи используют богатый арсенал приемов из теории чисел, теории множеств и других разделов математики. Хотя полученные при этом результаты интересны, они пока не достигают оценок, которые дает метод бросания монеты.

ЗНАЧИТЕЛЬНАЯ часть ранних исследований по теории Рамсея была посвящена множествам точек и линий, но все же во многих из них рассматривались и множества чисел. Голландский математик Бартель Л. Ван дер Варден начал решать такие задачи еще до того, как Рамсей доказал свою теорему.

В 1926 г. Ван дер Варден встретился с интересной задачей, связанной с арифметическими прогрессиями. Как следует из самого названия, арифметическая прогрессия — это такая последовательность чисел, в которой разность между двумя соседними членами остается постоянной. Например, последовательность 3, 5, 7 есть трехчленная арифметическая прогрессия, в которой разность между соседними членами равна двум. Частный случай задачи, привлекшей внимание Ван дер Вардена, можно сформулировать так. Если каждое целое число от 1 до n напечатать на странице одной из двух красок, красной или синей, то всегда ли найдутся три синих или три красных числа, образующие арифметическую прогрессию? Ответ дается в тексте в рамке на с. 73.

Ван дер Варден поставил перед собой следующую задачу, являющуюся обобщением предыдущей: доказать, что если n — достаточно большое число и все целые числа от 1 до n напечатаны на странице одним из двух произвольно выбираемых для каждой цифры цветов, то всегда существует

одноцветная последовательность определенным числом членов, являющаяся арифметической прогрессией. Это утверждение можно считать теоремой Рамсея для арифметических последовательностей, хотя оно общеизвестно под названием теоремы Ван дер Вардена.

Ван дер Варден призвал на помощь своих коллег Эмиля Артина и Отто Шрейера. Позднее он писал: «Мы пришли в кабинет Артина на факультет математики Гамбургского университета и попытались найти доказательство. Мы рисовали на доске какие-то рисунки. У нас было состояние, которое немцы называют Einfälle (озарение), когда в голову приходят неожиданные идеи. Несколько раз такие новые идеи направляли обсуждение в новое русло, и одна из них в конце концов привела к решению». Оказалось, однако, что Ван дер Варден не смог доказать этот результат для двух красок, не доказав его для случая, когда одновременно используется произвольное число красок.

В своем доказательстве Ван дер Варден применил особый вид математической индукции. Обычная (одинарная) индукция включает в себя два этапа. На первом этапе нужно показать, что утверждение выполняется для некоторого малого числа, скажем, для двух. На втором этапе доказываем, что если утверждение справедливо для какого-либо числа, то оно справедливо и для числа, на единицу большего. Отсюда следует, что оно верно для трех, четырех и так далее. Результаты «идут в руки» один за другим как бесконечная очередь падающих костяшек домино, поставленных на ребро: если столкнуть одну, то упадут все.

Чтобы доказать теорему Рамсея для арифметических прогрессий, Ван дер Варден применил более тонкую, двойную индукцию. Он предположил, что для любого фиксированного числа красок существует число n , такое, что если каждое целое число в интервале от одного до n напечатать какой-нибудь из этих красок, то найдется арифметическая прогрессия чисел одного цвета, состоящая, скажем, из 10 членов. Опираясь на это допущение, он смог показать, что для любого фиксированного набора красок существует число m , такое, что если каждое целое число в интервале от 1 до m напечатать какой-нибудь из этих красок, то будет существовать одноцветная арифметическая прогрессия из 11 членов. В общем, он показал, что из результатов для k членов и любого количества красок вытекает результат для $k + 1$ членов и любого количества красок.

После того как Ван дер Варден до-

Теория Рамсея и игра «крестики-нолики»

В 1926 г. Бартель Л. Ван дер Варден доказал, что если n — достаточно большое число и если все числа от 1 до n произвольным образом раскрасить каким-нибудь из двух цветов, то всегда найдется одноцветная арифметическая прогрессия с определенным числом членов. В 1983 г. А. Хейлз и Р. Джуитт открыли то, что оказалось сутью теоремы Ван дер Вардена, изучая игру «крестики-нолики». Хотя классический вариант этой игры с игровым полем размером три на три может быстро наскучить, трехмерный вариант с четырьмя полями в каждом ряду весьма интересен. «Доской» для трехмерной игры служит куб, разбитый на 64 ячейки. Игроки по очереди заполняют ячейки крестиками или ноликами, пока один из них не выиграет, заполнив четыре ячейки, расположенные на одной прямой. И двумерная, и трехмерная игра порой кончается ничьей. А как обстоит дело в случае игр более высокой размерности? Можно ли гарантировать выигрыш в некотором n -мерном варианте крестиков и ноликов с k элементами на одной прямой?

Хейлз и Джуитт показали, что если размерность n достаточно велика, то всегда можно найти вариант игры с k элементами на одной прямой, который никогда не кончается ничьей. Например, независимо от того, как расположены крестики и нолики в трехмерной игре с тремя элементами в ряду, всегда либо три крестика будут расположены на одной прямой, либо три нолика.

Теорему Ван дер Вардена можно вывести из результата Хейлза и Джуитта, применив преобразование, переводящее прямые этой игры в арифметические прогрессии. Рассмотрим трехмерную игру с тремя элементами в ряду.

Координаты крестиков в этой выигрышной комбинации суть 121, 222 и 323; рассматриваемые как числа, они образуют арифметическую прогрессию. Можно показать, что всякая выигрышная комбинация, преобразованная этим методом, дает арифметическую прогрессию.

	1	2	3
1			
2	X		
3			
	1	2	3

	1	2	3
1			
2		X	
3			
	1	2	3

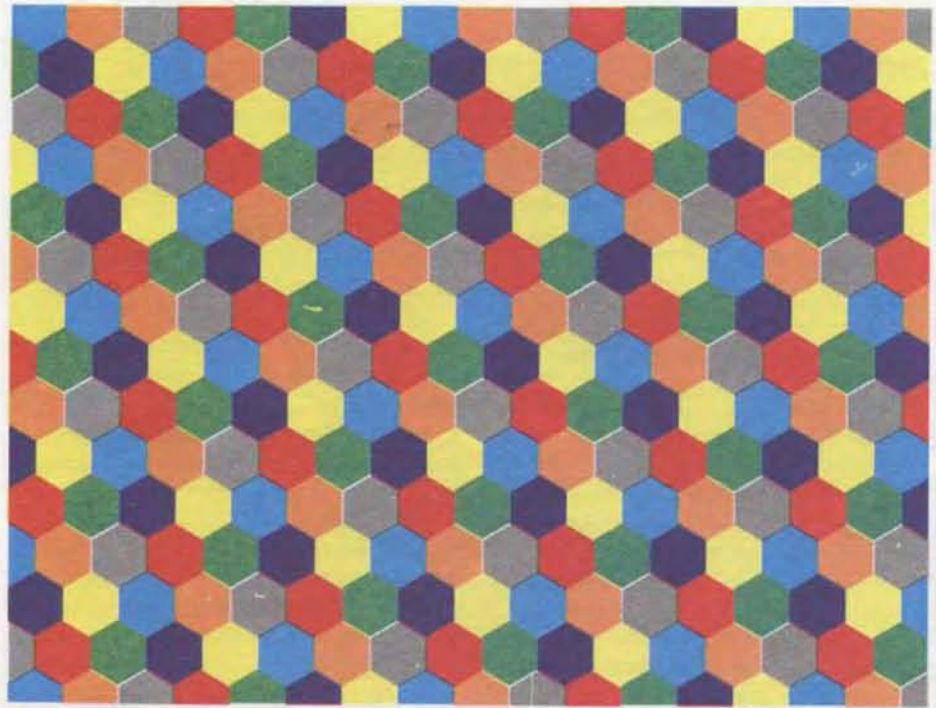
	1	2	3
1			
2			X
3			
	1	2	3

брался до этой стадии доказательств, ему осталось только продемонстрировать, что его предположение действительно верно для некоторого малого значения k . Если целых чисел на единицу больше, чем красок, то всегда найдутся два числа одного цвета. Эти два числа образуют арифметическую прогрессию из двух членов. Поэтому одноцветная арифметическая прогрессия всегда существует, если чисел на единицу больше, чем красок. Бесконечная последовательность фишек домино для двух членов теперь сталкивает бесконечную последовательность домино для трех членов, которая, в свою очередь, сталкивает бесконечную последовательность домино для четырех членов, и так далее (см. текст в рамке на с. 74).

ДОКАЗАВ теорему Рамсея для арифметических прогрессий, Ван дер Варден применил эти знания к решению следующей задачи. Каково наименьшее значение n , гарантирующее существование одноцветной арифметической последовательности из, скажем, 10 членов, если каждое число от 1 до n напечатать любой произвольно выбранной из двух красок? Лучший ответ, который Ван дер Варден смог найти, выражался столь большим числом, что его невозможно было записать в обычном виде. Оно было больше миллиарда, больше чем 10 в степени миллиард.

В самом деле, чтобы выразить его результат, математики прибегают к последовательности функций, известной как иерархия Аккермана. Первая функция в этой иерархии называется просто $\text{DOUBLE}(x)$. Как подсказывает название (*double* — значит, удвоить), эта функция удваивает значение x . Так $\text{DOUBLE}(1)$ равно 2, $\text{DOUBLE}(50)$ равно 100. Вторая функция, $\text{EXPONENT}(x)$, может быть описана как 2 в степени x , и, следовательно, $\text{EXPONENT}(3)$ равно 8. Можно также выразить EXPONENT через DOUBLE . Например, чтобы найти $\text{EXPONENT}(3)$, мы удваиваем 1, затем удваиваем результат предыдущего действия и затем снова удваиваем результат. На самом деле любая функция в иерархии Аккермана определяется через предыдущую.

Итак, третью функцию этой иерархии, $\text{TOWER}(x)$, можно выразить с помощью функции EXPONENT . $\text{TOWER}(3)$, например, — это 2 в степени 2 в степени 2 , что равно 2 в степени 4 , т. е. 16. $\text{TOWER}(x)$ иногда записывают в виде «башни» (*tower* — значит, башня) показателей степеней,



ПОНЯТИЯ теории Рамсея применимы к геометрическим задачам вроде этой головоломки о шестиугольниках. Если длины всех сторон шестиугольников равны 0,45 единицы (единица длины может быть произвольной), то две точки внутри шестиугольника отстоят друг от друга самое большее на 0,9 единицы. Каждый шестиугольник окрашивается одним из семи цветов, так, что никакие два шестиугольника одного цвета не отстоят друг от друга меньше чем на 1,19 единицы. Никакие две точки одного цвета не находятся одна от другой на расстоянии, в точности равном единице. Пока что никто не смог определить, можно ли раскрасить плоскость шестью красками так, чтобы никакие две точки одного цвета не находились в точности на расстоянии одной единицы друг от друга.

где x — число двоек в этой башне. Но даже функция $\text{TOWER}(x)$ растет недостаточно быстро, чтобы можно было записать результат Ван дер Вардена.

Следующую функцию, известную под шуточным прозвищем $\text{WOW}(x)$ (английское междометие *WOW* примерно соответствует русским «Ой!», «Ах!» и «Ну и ну!»). — *Перев.*, можно найти, если начать с 1 и применить x раз функцию TOWER . Тогда,

$$\begin{aligned}\text{WOW}(1) &= \text{TOWER}(1) = 2, \\ \text{WOW}(2) &= \text{TOWER}(2) = 4, \\ \text{WOW}(3) &= \text{TOWER}(4) = \\ &= 65536.\end{aligned}$$

Чтобы найти $\text{WOW}(4)$, нужно вычислить $\text{TOWER}(65536)$. Чтобы это сделать, нужно начать с 1 и применить функцию EXPONENT 65 536 раз. Даже применение функции EXPONENT всего лишь пять раз дает 2^{65536} , — число, которое, будучи записанным цифра за цифрой, заполнило бы две страницы этого журнала. На самом деле даже число, заполняющее все страницы всех книг и всю память всех компьютеров, все же останется несравнимым с $\text{WOW}(4)$.

Тем не менее, чтобы все-таки запи-

сать результат Ван дер Вардена, придется определить функцию, которая растет еще быстрее. Функция $\text{ACKERMANN}(x)$ определяется последовательностью $\text{DOUBLE}(1)$, $\text{EXPONENT}(2)$, $\text{TOWER}(3)$, $\text{WOW}(4)$ и так далее. $\text{ACKERMANN}(x)$ в конце концов растет быстрее любой функции в этой иерархии. Доказательство Ван дер Вардена дает следующий количественный результат: если числа 1, 2, ..., $\text{ACKERMANN}(k)$ раскрашены двумя красками, то всегда существует одноцветная арифметическая прогрессия длиной k .

Кажется странным, что такие чудовищные числа могут возникнуть из столь невинного утверждения, касающегося только арифметических прогрессий. Многие математики в течение многих лет пытались улучшить доказательство Ван дер Вардена. Неудача следовала за неудачей, и в результате стало укрепляться убеждение в том, что двойная индукция и соответственно функция ACKERMANN являются необходимыми компонентами любого доказательства теоремы Ван дер Вардена. Все чаще логики пытались найти подтверждения тому, что так оно и есть на самом деле.

В 1987 г., однако, израильский ло-

гик Саарон Шела из Еврейского университета в Иерусалиме добился крупного успеха. Шела широко признан как человек, лучше всех справляющийся с решением сложнейших задач в современной математике. Он сумел преодолеть барьер функции ACKERMANN и показал следующее: если целые числа от 1 до $WOW(k)$ раскрасить в два цвета, то всегда найдется одноцветная арифметическая прогрессия длиной k членов.

Несмотря на свою специализацию, Шела вовсе не использует в своем доказательстве каких-либо средств математической логики. В нем применены лишь элементарные (но чрезвычайно остроумные) математические идеи. Полностью выписанное, его доказательство занимает приблизительно четыре страницы, и большинство специалистов находит его более четким, чем первоначальное доказательство Ван дер Вардена. Что самое важное, он обошелся без двойной индукции. Он фиксирует число красок на двух (или любом другом конкретном значении) и затем проводит обычную индукцию: если утверждение верно для прогрессий длиной k членов, то оно также справедливо и для прогрессий длиной $k + 1$.

Математики сейчас пытаются понять, можно ли улучшить доказательство Шелы, чтобы получить для теоремы Ван дер Вардена оценку порядка TOWER или даже EXPONENT. Один из нас (Грэм) предложил премию в размере 1000 долл. тому, кто докажет (или опровергнет) утверждение, что для всякого k раскрашенная в два цвета совокупность чисел от 1 до TOWER(k) содержит одноцветную арифметическую прогрессию из k членов.

УСИЛИЯМИ Рамсея, Эрдёша, Ван дер Вардена и многих других были заложены основы теории, носящей имя Рамсея. Пока что исследователи только начали изучать следствия этой теории. Она позволяет предположить, что структурная основа математики состоит из чрезвычайно больших чисел и множеств — объектов столь громадных, что их трудно даже выразить, а тем более постичь.

Когда мы научимся обращаться с этими большими числами, мы сможем найти математические соотношения, которые помогут инженерам создавать большие сети коммуникаций, а ученым распознавать упорядоченные структуры в крупномасштабных физических системах. Сегодня мы с легкостью прослеживаем в созвездиях на ночном небосводе следствия теории Рамсея. А какие структуры можно найти в множествах, размеры которых в ACKERMANN (9) раз больше?

Новый рывок голографической технологии

В КИНОФИЛЬМЕ «Звездные войны» и в других научно-фантастических фильмах голограммы предстают на удивление живыми, подвижными изображениями, которые наблюдаются на экранах компьютеров и «видеофонов» будущего. В действительности же большинство голограмм дают смазанные, неподвижные картины, которые лишь в малой степени выглядят трехмерными, и применяются только для изготовления кредитных карточек и ювелирии. И все же исследователи из лаборатории информационных носителей Массачусетского технологического института (МТИ) заключили договор с Голливудом, поскольку им удалось создать синтезируемые на компьютере подвижные голограммы.

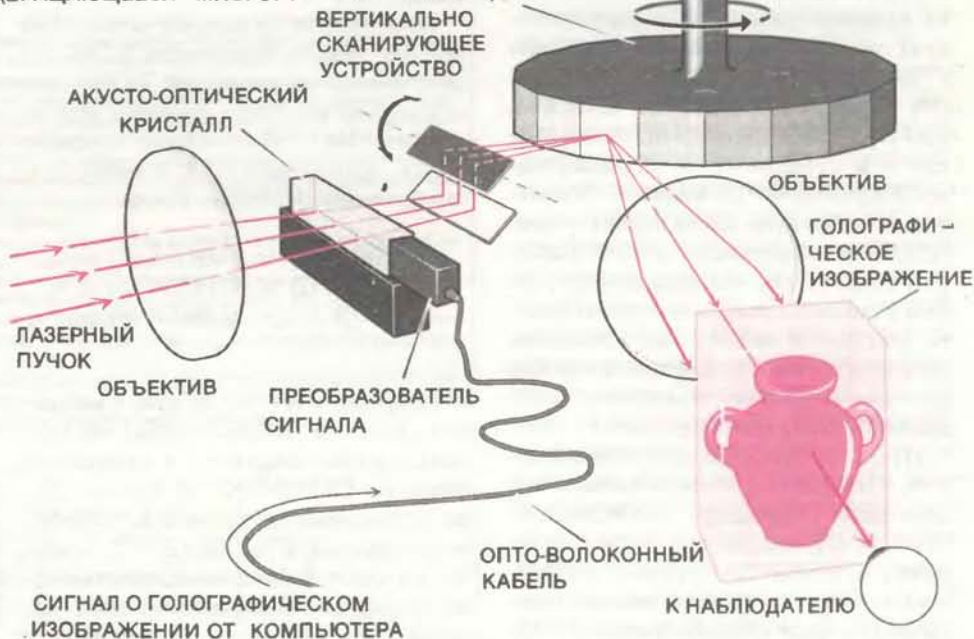
Исследователи приготовили для демонстрации фильм, в котором показан на орбите планеты маленький звездолет «Энтерпрайз» из телевизионного шоу «Звездный поход». Усовершенствованные в дальнейшем системы когда-нибудь подошли бы в качестве трехмерных дисплеев для оборудованных компьютерами рабочих мест. Авиадиспетчеры, например, смогли бы наблюдать реальное относительное расположение самолетов в

переполненной ими зоне полетов. Врачи смогли бы ставить диагнозы из наблюдения трехмерных изображений органов, полученных методом сканирующей компьютерной томографии, а не полагаться лишь на плоские сечения.

Созданные к настоящему времени С. Бентоном, П. Хилари, М. Люсентом и их коллегами голограммы имеют небольшие размеры — около 4 см по стороне, — как и восстанавливаемые с них изображения, которые как бы «парят» перед 35-миллиметровым фокусирующим объективом. Изображения воспроизводят параллакс, то есть представляются под различными углами наблюдателя, движущемуся головой влево или вправо. Движущиеся изображения демонстрируются с частотой от 15 до 20 кадров в секунду, что превосходит качество некоторых мультипликационных фильмов, показываемых в настоящее время по телевидению.

И все же перевод компьютерных данных в голографическое изображение — довольно сложная задача. Обычно голограммы изготавливают фотографическим способом путем записи на пленке интерференционной картины, созданной в результате взаимодействия лазерного пучка и той его части, которая отражается от объекта. Хотя компьютер и в состоянии рассчитать, как голограмма должна наблюдаться под различными угла-

ГОРИЗОНТАЛЬНО СКАНИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО (ВРАЩАЮЩЕЕСЯ МНОГОГРАННОЕ ЗЕРКАЛО)



ПОДВИЖНЫЕ ГОЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ сформированы при помощи компьютера в лаборатории информационных носителей Массачусетского технологического института. На кристалл подаются лазерный пучок и преобразованные в акустические сигналы данные. Свет после выхода из кристалла трансформируется зеркалами в быстро меняющееся трехмерное изображение.

ми, перевод указанной информации в визуальное изображение оказался сложным. Бентон с коллегами решил эту задачу, сначала преобразовав хранящиеся в памяти компьютера данные в акустический сигнал, а затем в световой сигнал. Успешное ее решение обеспечено использованием акусто-оптического кристалла, реагирующего на акустические сигналы отклонением света в различных направлениях.

В созданной в МТИ системе на кристалл одновременно подается лазерный пучок и акустический сигнал, соответствующий созданному на компьютере описанию голограммы. Кристалл преломляет лазерный пучок таким образом, что в каждый момент времени пучок представляет некоторый элемент голографического изображения. Зеркала затем трансформируют пучок в неподвижную картинку. Слегка видоизменяя картинку 20 раз в секунду, группа Бентона обеспечивает иллюзию подвижного изображения.

Такой способ формирования голограммы требует особо мощного компьютера. Чтобы сохранить для опытного образца системы возможность решать разнообразные задачи, группа из МТИ ограничивает размеры используемых в системе голограмм, сужая угол наблюдения и исключая параллакс по вертикали. Тем не менее для формирования одного кадра голографического изображения по-прежнему необходимо 2 млн байт информации. Для большинства компьютеров потребовалось бы несколько часов или даже дней, чтобы выполнить необходимые вычисления. И даже имеющийся в распоряжении группы из МТИ суперкомпьютер стоимостью 4 млн. долл. требует на вычисления около 5 с.

При такой скорости система будет работать примерно в 100 раз медленнее, чем это необходимо для смены кадров с частотой, достаточной для формирования движущегося изображения. Чтобы продемонстрировать движение звездолета «Энтерпрайз», исследователи должны были заранее выполнить все вычисления и хранить их результаты в памяти компьютера. Но поскольку он способен запомнить всего лишь 50 кадров информации, подвижное голографическое изображение существует всего лишь несколько секунд.

Люсент полагает, что в ближайшие 10 лет технология улучшится настолько, что появится возможность создания голографических изображений на дисплеях ряда деловых компьютеров. Он указывает, что в настоящее время уже существуют компьютеры с параллельной обра-



ОГНЕННАЯ САЛАМАНДРА, которую раздражают травинкой, выбрасывает в сторону раздражителя нервный яд, образующийся в железах на спине.

боткой информации стоимостью 1 млн. долл., которые в состоянии решить проблему. Однако Люсент тут же шутливо отказался от своих слов, высказав неофициальный девиз лаборатории информационных носителей: «Мы только изобретаем будущее, а не предсказываем его».

В сказке — ложь?

ОГНЕННАЯ саламандра, обитающая в лесах по всей Европе, стала героем множества легенд. В средние века верили, что крупные (15—20 см длиной) саламандры не горят в огне и даже наслаждаются пламенем (отсюда и название этих амфибий); что если женщина привяжет кожу саламандры к бедрам, то она не забеременеет; что если саламандра притронется к фруктовому дереву, то плоды его будут ядовитыми; наконец, что саламандра отпугивает врагов, выбрасывая белую «гноиную» (как ее описал в XVII в. один знаток змей) жидкость.

В 1990 г. французский биолог М. Физаликс-Пико как будто опровергла последнее утверждение. Она установила, что хотя у саламандры железы, имеющиеся на спине, выделяют мощный нервный яд (он вызывает жжение слизистых оболочек и может привести к смерти, если его проглотить), животное не способно разбрызгивать это вещество.

Но несколько лет назад герпетолог Э. Броди-младший из Техасского университета в Арлингтоне, наблюдая за огненной саламандрой в своей лаборатории, неожиданно почувствовал мучительную боль в глазах и минут на двадцать ослеп. Его тревога и испуг умерялись мыслью о том, что, может быть, Физаликс-Пико не права и в старинных легендах содержалась доля истины.

В предпринятом после того случая исследовании Броди и его коллега биолог Н. Сматреск (в ходе работы оба пользовались защитными очками) подтвердили это предположение. Они тыкали огненных саламандр травинкой, и в ответ животные выбрасывали «гноиную» жидкость на расстояние по крайней мере 2 м. При этом саламандра двигает телом так, чтобы направить струю нужным образом — иногда в руку «агрессора», но часто в лицо и глаза.

В журнале «Herpetologica» Броди и Сматреск отмечают, что их наблюдения включают огненную саламандру в весьма примечательную группу животных, в которую входят скунсы, некоторые кобры, гекконы и ряд насекомых, которые могут отпугивать преследователей, выбрасывая ядовитую жидкость.

Быть может, и другие легенды об огненной саламандре правдивы? Броди в этом сомневается. В частности, он не советует женщинам проверять ее противозачаточные свойства.

Занимательная математика

Увлекательное и необычное путешествие по городу Голигону



А. К. ДЬЮДНИ

И тысячемильное путешествие начинается с одного шага
Лао-Цзы

ПОЗВОЛЬТЕ дать вам напутствие перед тем, как вы отправитесь в путешествие по городу Голигону. Аналогичную прогулку вы могли бы совершить в Нью-Йорке, Киото или любом другом крупном городе, улицы которого образуют прямоугольную решетку. Вот каким будет ваш маршрут: пройдите один квартал и в конце его поверните налево или направо, пройдите два квартала и опять поверните налево или направо, затем пройдите еще три квартала и опять поверните и т. д. После каждого поворота вы должны проходить, не сворачивая в сторону на один квартал больше, чем прошли до поворота на предыдущем прямолинейном отрезке пути. Если после нескольких

поворотов вы вернетесь в исходную точку, значит вы описали голигон. Если вы не нуждаетесь в физической тренировке, то можете легко промоделировать путешествие, проводя линии карандашом на бумаге в клеточку. Заблудившись же, вы можете сверить ваш путь по карте, изображенной внизу.

Голигон состоит из прямолинейных отрезков, длины которых (измеренные в милях, метрах или любых других единицах) равны 1, 2, 3, ... и т. д. до некоторого конечного числа. Каждый отрезок соединяется под прямым углом с отрезком, большим его на 1, — кроме самого длинного отрезка, который встречается под прямым углом с самым коротким.

Голигоны представляют собой нечто большее, чем просто любопытную геометрическую фигуру. Они леги в основу ряда замечательных го-

ловоломок и стали предметом интересных исследований. И наверное нет лучшего способа проникнуть в сущность исследовательского процесса, чем совершить занимательное путешествие.

Голигоны по-видимому были впервые придуманы Ли Сэллоусом, известным инженером из Католического университета в Ниймегене, Голландия. В последний раз я упоминал о работах Сэллоуса в декабрьском номере журнала за 1984 г., когда рассказывал о его поисках панграмм, предложений, содержащих каждую букву алфавита. С тех пор Сэллоус изобрел еще множество занимательных задач, но ни одна из них пожалуй не представляет такого интереса (по крайней мере для статей нашей рубрики), как голигоны.

Поисками голигонов Сэллоус начал заниматься осенью 1988 г. Очень скоро ему удалось найти восьмисторонний голигон. Однако подобные фигуры с меньшим количеством сторон никому не удалось обнаружить. Не удалось также найти голигон ни с девятью сторонами, ни с 10, ни с 11 ..., пока наконец Сэллоус не натолкнулся на голигон с 16 сторонами.

Сэллоусу было интересно, не пропустил ли он по пути голигона меньших размеров, и он написал компьютерную программу, позволившую ему автоматизировать процесс поиска. Программа нашла не больше не меньше, как 28 различных 16-сторонних голигонов (см. рисунок на с. 79), прежде чем перешла к поиску фигур больших размеров. Программа не нашла голигонов в диапазоне от 17 до 23 сторон, зато обнаружила сразу огромное количество 24-сторонних голигонов — а именно 2108.

К этому времени у Сэллоуса сложилось впечатление, что число сторон голигона должно быть кратным 8. Однако его программа, которая уже хорошо поработала в диапазоне от 20 до 30 сторон, не справилась с задачей поиска 32-сторонних голигонов. Разочарованный Сэллоус обратился за помощью к Мартину Гарднеру, хорошо известному специалисту в области занимательной математики. Не сможет ли Гарднер доказать, что количество сторон голигона должно быть кратным восьми?

Попробуем разобраться в доказательстве Гарднера, начав с более простой задачи: докажем, что число сторон должно быть четным. Чтобы было проще объяснить, позвольте мне вернуть вас на улицы города Голигона. Начнем наше путешествие, пройдя один квартал на север. (Северное направление я выбрал чисто произвольно.) Следовательно, первая сто-



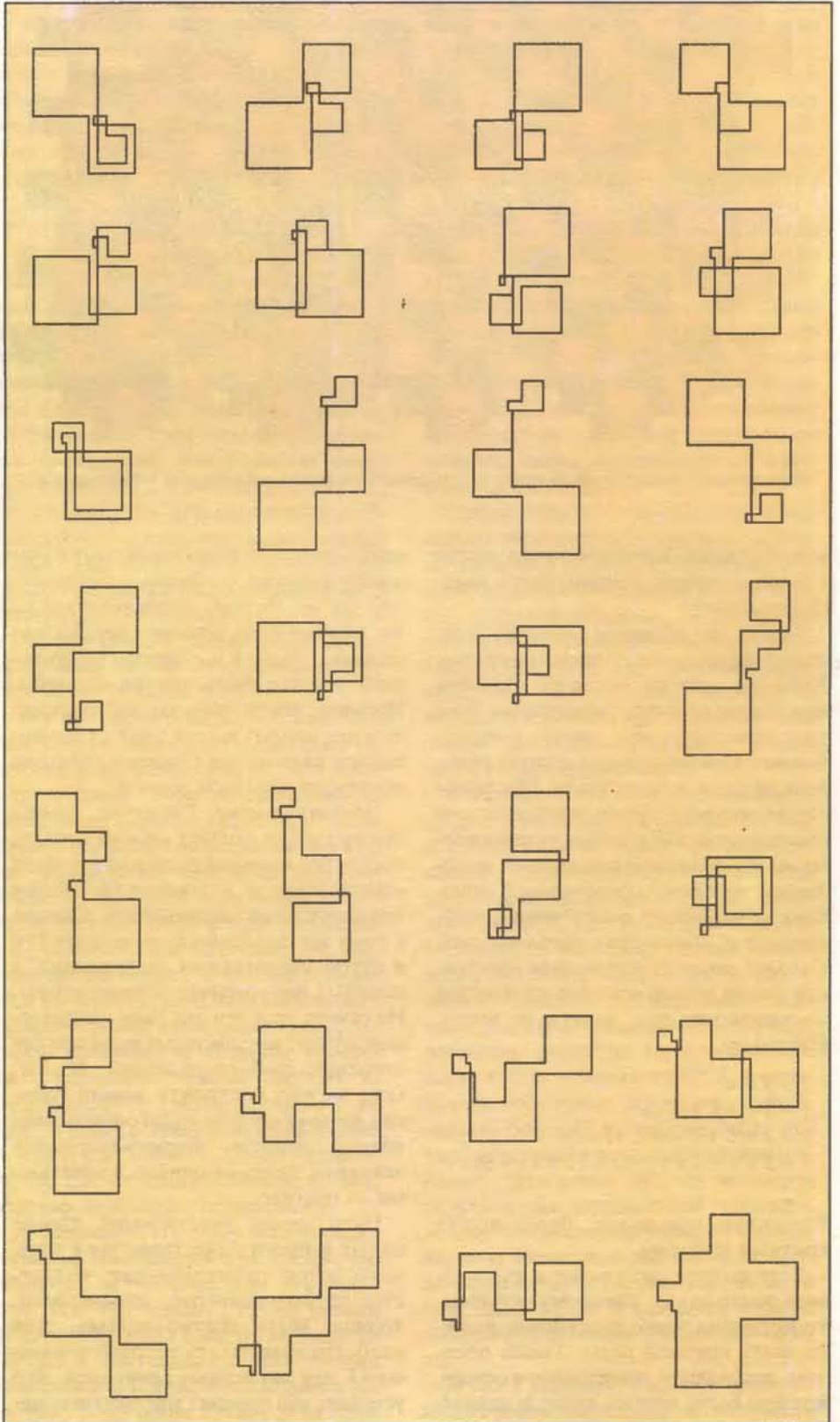
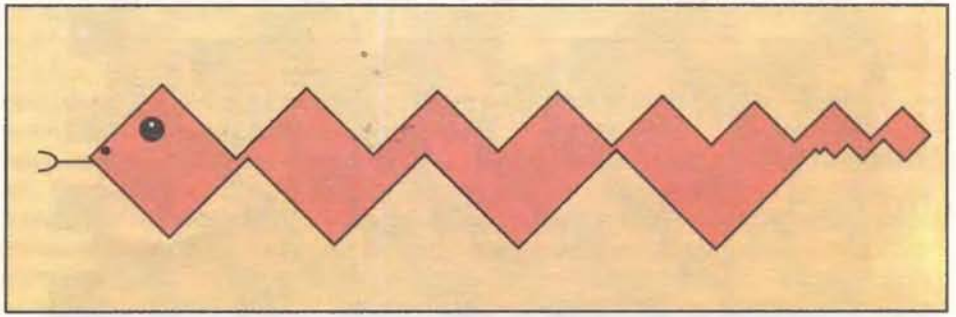
Карта города Голигона

рона голигона протянется в северном направлении на один квартал. Затем мы можем свернуть направо или налево, или соответственно на восток или запад. Поэтому вторая сторона голигона, длиной в два квартала, будет направлена на запад или на восток. Нетрудно видеть, что все нечетные по номеру стороны голигона (т. е. первая, третья, пятая и т. д.) имеют длину, равную нечетному количеству кварталов, и направлены либо на север, либо на юг; все четные стороны (вторая, четвертая, шестая и т. д.) имеют длину, равную четному количеству кварталов и направлены либо на запад, либо на восток. Поскольку последняя сторона голигона встречается с первой под прямым углом, последняя сторона должна иметь западное или восточное направление. Следовательно, последняя сторона является четной, и число сторон голигона должно быть кратным двум.

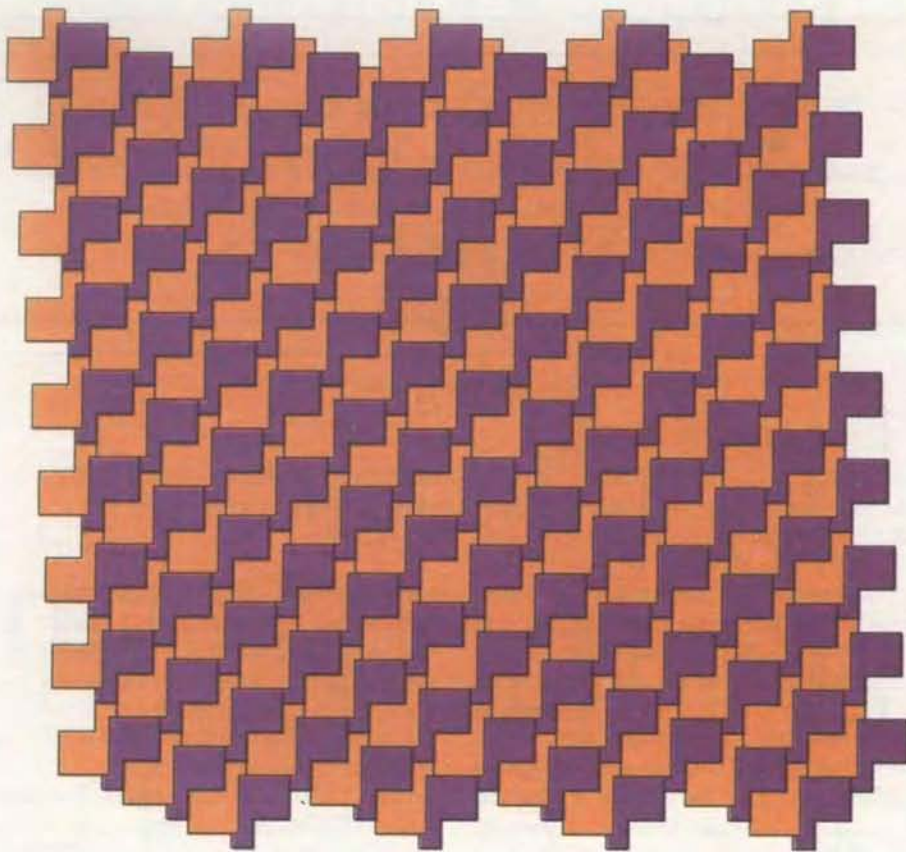
Чтобы доказать, что число сторон голигона кратно четырем, будем подсчитывать суммарное расстояние, пройденное нами в северном направлении, начиная от исходной точки путешествия. Для этого будем все время прибавлять к результату число кварталов, пройденных на север, и вычитать число кварталов, пройденных на юг. (Отрицательный итог будет просто означать, что мы находимся к югу от точки старта.)

Поскольку все стороны северного и южного направлений имеют длину, равную нечетному количеству кварталов, мы по существу прибавляем и вычитаем последовательные нечетные числа. Можно без труда убедиться в том, что результатом сложения или вычитания четного количества нечетных сторон будет всегда четное число — например, $1 + 3 - 5 + 7 = 6$. Аналогичным образом, нечетное число нечетных длин всегда дает нечетную сумму. Следовательно, расстояние, пройденное в северном направлении, равно четному числу кварталов тогда и только тогда, когда мы проходим четное количество сторон северной и южной ориентации.

Теперь, если мы, выйдя из стартовой точки, попутешествуем по городу Голигону и вернемся обратно, то расстояние к северу от стартовой точки будет равно нулю. Так как ноль — это четное число, то голигон должен иметь четное количество сторон, направленных на север или на юг. Полное количество сторон вдвое больше количества сторон северной и южной ориентации, потому что на каждую сторону с северным или южным направлением должна приходиться одна сторона, направленная на восток



Один голигон "змея" с 32 сторонами и все 28 голигонов, имеющих по 16 сторон



Наименьший возможный голигон покрывает плоскость плиточным орнаментом

или на запад. Таким образом, число сторон голигона должно быть кратным четырем.

Каким же образом Гарднеру удалось доказать, что количество сторон голигона кратно восьми? Давайте проследим за его путешествием. Нам уже известно, что число северно-южных (вертикальных) сторон голигона должно быть четным. Мы знаем также, что расстояние, пройденное на север, равно расстоянию, пройденному на юг. Поэтому расстояние, пройденное на север, представляет половину суммарного расстояния, пройденного в обоих этих направлениях. Отсюда следует, что полное расстояние равно сумме четного количества последовательных нечетных чисел. Например,

$$\begin{aligned} 1 + 3 &= 4 \\ 1 + 3 + 5 + 7 &= 16 \\ 1 + 3 + 5 + 7 + 9 + 11 &= 36 \\ 1 + 3 + 5 + 7 + 9 + 11 + 13 + 15 &= 64 \end{aligned}$$

Результат, как видно, будет всегда кратный четырем.

Если полное расстояние к югу и северу равно числу, кратному четырем, то половина этого расстояния должна быть кратной двум. Таким образом, расстояние, пройденное к северу, должно быть кратно двум, и количество сторон, направленных на север, также должно быть кратно двум, поскольку все такие стороны должны

иметь длину, равную нечетному количеству кварталов. Отсюда вытекает, что число сторон, направленных на юг, кратно двум, и полное количество сторон с южной и северной ориентацией должно быть кратно четырем. Наконец, после того как мы подключим восточные и западные стороны, полное количество сторон в голигоне получится кратным восьми.

Доказательство Гарднера может показаться довольно своеобразным, поскольку главную роль в нем играли нечетные числа, в то время как четные практически не упоминались. Однако к тому же заключению можно прийти и путем аналогичных рассуждений, в которых фигурируют четные длины. На самом деле эти два типа направлений играют независимые роли при построении любого голигона. Например, можно построить новый голигон из двух других голигонов одинакового размера, воспользовавшись четными длинами одного и нечетными — другого.

Путь наших рассуждений провел нас от вопроса существования к условиям этого существования; количество сторон голигона, определенно, должно быть кратно восьми. Для удобства назовем эту теорему условием $8k$ для двумерных голигонов. Это условие, как говорят математики, является необходимым. Если голигон существует, то число его сторон обязательно должно быть кратно вось-

ми. Однако является ли это условие достаточным? Другими словами, если мы просто потребуем, чтобы количество сторон многоугольника было кратно восьми, окажется ли этого достаточно для существования голигона?

Мы можем найти голигон, число сторон которого в 8 раз больше произвольно выбранного числа, путем применения набора простых правил. На первом шаге надо решить вопрос о величине n . Чтобы проиллюстрировать применение метода, я выбрал 16-сторонний голигон. На втором шаге нужно выписать последовательность чисел от 1 до n ; в нашем случае, — от 1 до 16.

На третьем шаге перед числами нужно расставить плюсы и минусы. Первая и последняя четверки чисел будут иметь знак плюс, оставшимся числам будет присвоен знак минус: $+1, +2, +3, +4, -5, -6, -7, -8, -9, -10, -11, -12, +13, +14, +15, +16$. Чтобы перейти от этой последовательности чисел к маршруту по городу Голигону, нужно только помнить о том, что положительные нечетные числа соответствуют сторонам, направленным на север, отрицательные нечетные числа — сторонам, направленным на юг, положительные четные числа — сторонам, направленным на восток, и, наконец, отрицательные четные числа — сторонам, направленным на запад. Получившийся в результате голигон имеет змеевидную форму: 32-сторонняя "змея" показана на верхнем рисунке на с. 79.

Покончив с вопросом о достаточности условия $8k$, Гарднер и Сэллоус заинтересовались количеством возможных голигонов. Они нашли один голигон восьмого порядка, 28 голигонов 16-го порядка и 2108 порядка 24. Каким будет число голигонов более высоких порядков? Такими вопросами чаще всего задаются математики, специализирующиеся в комбинаторике, науке, изучающей дискретные математические объекты, такие как множества и графы (см. статью Р. Грэма и Дж. Спенсера "Теория Рамсея" на с. 70). Гарднер решил обратиться к экспертам. Он написал несколько писем известному специалисту в области информатики Д. Кнуту из Станфордского университета и математику Р. Гаю из университета Калгари в Альберте. Не могли бы они помочь ему подсчитать количество голигонов?

Вскоре Кнут написал компьютерную программу, которая подсчитывала все голигоны, размерами до 64 сторон. Полное число 64-сторонних голигонов оказалось равным 127674038970623.

А тем временем Гай сумел постро-

ить формулу, приближенно описывающую количество голигонов для каждого возможного значения k , равного числу сторон, поделенному на 8. Формула представляет собой дробное выражение, основными членами которого являются 2, возведенная в степень $8k - 6$ в числителе и k в кубе — в знаменателе. Поскольку при росте значения k экспоненциальный член растет значительно быстрее кубического члена, возрастание количества голигонов с числом его сторон по существу носит экспоненциальный характер. Формула Гая обладает еще одним важным свойством: она является асимптотической — т. е. выдает результат, который, если выразить его в процентах к правильному, приближается к 100% по мере того как возрастает значение k .

Сэллоус, Гарднер, Кнут и Гай решили опубликовать свои результаты в научной статье. Слово «голигон» не фигурирует в заголовке. Вместо этого фигуры называются «последовательными равноугольниками с углом 90° ». В научном смысле этот термин звучит солиднее. Упоминание о 90° означает, что возможны и другие виды голигонов. На самом деле некоторые исследователи уже занимались поисками голигонов с углом не 90° , а 60° или 120° . Чтобы строить такие голигоны, читателям может понадобиться специальная бумага, разграфленная на шестиугольники. В США ее можно найти в любом магазине, торгующем канцелярскими принадлежностями.

Наверное на этом можно было бы и остановиться? Однако исследования (так же как и занимательные поиски) никогда не останавливаются. Зачастую прогресс в решении одного вопроса вызывает появление других, новых вопросов. Иногда очень труд-

но выбрать, каким же вопросом следует заняться дальше.

Едва только какая-нибудь научная проблема оказывается решенной, как возникают новые проблемы, чисто занимательного характера: а можно ли найти голигоны со сторонами, длины которых были бы простыми числами? Стороны такого голигона возрастали бы в порядке последовательности простых чисел: 1, 3, 5, 7, 11, 13 и т. д.

Следует упомянуть и еще об одном приложении голигонов. Взгляните опять на восьмисторонний голигон. Он является единственным представителем своего семейства. Восемисторонние голигоны очень хорошо подгоняются друг к другу, покрывая плоскость плиточным орнаментом. Этот орнамент показан на с. 80.

Собственно говоря, область, ограниченная восьмисторонним голигоном, должна называться полиомينو. Не все голигоны образуют полиомино, поскольку некоторые голигоны пересекаются друг с другом, покрывая плоскость. В действительности, полиоминные голигоны (научнообразное выражение, употребление которого может отпугнуть ваших друзей, но зато придать вам солидность в обществе) становятся по-видимому все более редкими, в относительном смысле по мере роста n . Лишь 4 из 29 голигонов, показанных на с. 79, представляют собой границы полиомино. И ни один из них не покрывает плоскость плиточным узором.

Так вот, если говорить о плитках, то Сэллоус предлагает читателям такую задачу: предположим, что восьмисторонний голигон представляет граничную линию кухонного пола. Сумеет ли читатель покрыть пол кухни тринадцатью плитками в форме буквы Г? Для этой цели удобно было бы представить пол в виде 52 квадратов, таких же, как на специально разграфленной бумаге, о чем мы говорили в начале статьи. Сторона каждого квадрата равна единичной длине, которой измеряются стороны голигона. Г-образные плитки состоят из трех квадратов, расположенных в линию, и одного квадрата, образующего выступ на букве Г. Если эту задачу кто-то сочтет неразрешимой, то ему, конечно, придется это доказать.

Я завершаю эту тему несколькими словами, сказанными Сэллоусом, инженером, затеявшим всю эту историю. Вот эти «слова»: ZERO (ноль), ONE (один), TWO (два) и так далее до FIFTEEN (пятнадцать). Их можно расположить в виде специального голигона, в котором буквы этих слов расположены по сторонам того, что можно было бы назвать логолигоном (см. рисунок слева).

О письмах читателей

Новый ум императора и клеточный мир

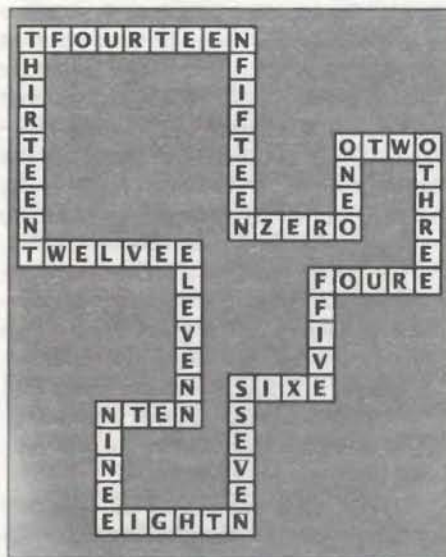
Ящик Пандоры, содержащий умы, машины и метафизику и открытый мною в февральском номере нашего журнала, позволил мне стать свидетелем битвы гигантов. В одном углу ринга стоял Р. Пенроуз, чья недавняя книга «Новый ум императора» вдохнула новые силы в тех, кто всегда чувствовал, что человеческий мозг — это нечто большее, чем компьютер. В противоположном углу находились специалисты по искусственному интеллекту и вычислительной технике, которые не нашли ничего необычного и убедительного в этой книге.

На помощь Пенроузу был призван философ Дж. Сирл (его статья «Разум мозга — компьютерная программа?» была опубликована в нашем журнале в феврале 1990 г.). Сирл выдвинул аргумент «китайской комнаты»: компьютерная программа, умеющая читать и писать по-китайски, понимает китайский не в большей степени, чем человек, слепо моделирующий поведение программы.

Среди тех, кто поддержал точку зрения специалистов по искусственному интеллекту, был Х. Моравец, эксперт по робототехнике из университета Карнеги-Меллона, приславший мне копию открытого письма, написанного им Пенроузу. Моравец, энтузиазм которого в полной мере проявился в его книжке «Дети разума», называет аргументы Пенроуза «в высшей степени ошибочными».

Согласится ли Пенроуз наделить теми же интеллектуальными способностями робота, каким он наделяет собаку, глядящую на него преданными карими глазами и жалобно скулящую? Робот, которого имеет в виду Моравец, в настоящее время скорее воображаемый, чем реальный. Он говорит: «Знаешь, Роджер, меня огорчает, что ты не думаешь обо мне как о реальной личности. Ну что мне сделать, чтобы убедить тебя? Я воспринимаю тебя точно так же, как воспринимаю себя. И я говорю тебе, что твое отношение ко мне почти невыносимо». Эти слова робота являются результатом специальной программы, которая должна убедить хозяина, что немножко заботы о роботе все-таки следует проявлять, иначе его поведение будет в каком-то смысле подобно поведению обиженной собаки.

Я могу упомянуть лишь о нескольких из многочисленных читательских откликов на статью в мартовском номере журнала. Дж. Рэскин из Пасифика (шт. Калифорния) говорит, что ар-



Логолигон, придуманный Сэллоусом

гумент Сирла с китайской комнатой равносильно определению разума примерно в таком духе: "Разум — это не алгоритмический процесс, который..." П. Прейс, энтузиаст вычислительной техники и довольно известный писатель-фантаст из Сан-Франциско, утверждает, что аргумент с китайской комнатой не является полноценным мысленным экспериментом. Его следовало бы выполнить, говорит Прейс, "самому Сирлу. Если ему удастся убедить китайца, что он сам, находясь в комнате, действительно умеет читать и писать по-китайски, то тогда пусть он и поделится своими субъективными ощущениями относительно того, обучился или не обучился он китайскому языку в процессе эксперимента."

Знаменитая "теорема о неполноте" немецкого математика Курта Гёделя часто цитируется как свидетельство тому, что существуют мысли, выходящие за рамки возможностей любого алгоритма. Но вопрос о том, может ли сама теорема воспользоваться внеалгоритмическим статусом, натолкнулся на целый поток отрицательных ответов со стороны, по видимому, достаточно квалифицированных специалистов, включая Г. Рэя, изучающего логику и методологию науки в Калифорнийском университете в Беркли, и Р. Виленски, возглавляющего программу исследований по искусственному интеллекту в этом же университете. П. Кугел, работающий на факультете информатики Бостонского колледжа, считает, что доказательство Гёделя само по себе уже является алгоритмом. В последней нашей статье, вышедшей в рубрике "Занимательный компьютер" в мартовском номере журнала, были описаны два программно-моделируемых клеточных автомата, созданные Б. Силверменом из Монреаля и Р. Ракером из Лос-Гейтос (шт. Калифорния).

Мир электронных схем, двумерное клеточное пространство, в котором экспериментаторы-любители могут сами разрабатывать простые вычислительные схемы, привлекли внимание многих читателей. Н. Хайзе из Хьюстона (шт. Техас) разделяет энтузиазм Силвермена в отношении моделируемых электронных схем, причем до такой степени, что написал свою программу, воспроизводящую многие свойства мира схем Силвермена. Написанная на компактном языке АПЛ за один вечер, эта программа позволила Хайзе построить элементы памяти, превосходящие по скорости действия те, которые были предложены мною. Воспользовавшись автоматом, я построил замкнутый

путь, по которому постоянно пробегает импульс с периодом в 13 тактовых импульсов часового механизма-автомата. Исключительно эффективный запоминающий элемент Хайзе имеет период, равный всего лишь четырем тактовым импульсам. Однако, чтобы построить столь быстрое устройство, ему пришлось изобрести новый способ передачи сигнала по проводящим линиям.

Среди других изобретательных читателей отмечу также О. Шпрингауфа из Вюрцбурга (ФРГ) и Д. Сервоне из Провиденса (шт. Род-Айленд). Сле-

дующая моя более консервативная технология, Шпрингауф сумел усовершенствовать мой цикл памяти, уменьшив его период с 13 до 12 тактовых импульсов. Сервоне построил целый ряд удивительных устройств, включая четырехбитовый сумматор. Чертежи, присланные всеми читателями, выглядели совершенно необычно по той причине, что клеточные автоматы в корне отличаются от непрерывной физики, используемой в реальных микроэлектронных компонентах.

Наука и общество

Алло, говорит компьютер!

ЕСЛИ вы услышите по телефону мужской голос с дикцией, характерной для робота, значит на линии система ORATOR. Новый синтезатор речи, разработанный компанией Bell Communications Research (Bellcore) произносит слова с несколько звенящим тембром, в манере отрывистого стаккато. Этот звук наверное покажется еще более неприятным, чем уже ставшие привычными женские искусственные голоса, произносящие безо всякой интонации что-нибудь вроде "Ваш новый номер...". Однако ORATOR обладает талантом, которого лишены действующие автоматические операторы — он может озвучивать компьютеризованный текст. Даже странный голос системы ORATOR встречает похвальные отзывы со стороны потенциальных пользователей.

До настоящего времени существовала лишь одна технология цифрового синтеза голоса, позволяющая автоматизировать функции оператора. Устройства подобного рода берут маленькие фрагменты записанной человеческой речи и располагают их в нужной последовательности. Эта технология вполне удовлетворительно работает для чисел и нескольких дежурных фраз. Однако она не в состоянии дать информацию, не записанную предварительно человеком.

ORATOR обладает такой способностью. Это первый коммерческий речевой синтезатор, разбивающий слова на полуслоги. Синтезаторы старших поколений пытались "склеивать" меньшие части слова — например, отдельные звуки, такие как "и", "а" или "ч". "ORATOR оперирует более длинными фрагментами и, таким образом, может учитывать эффекты взаимного влияния соседних звуков", — объясняет М. Шпигель, который разработал эту технологию совместно с М. Маччи.

Прежде чем произнести какое-либо слово, оно проверяется компьютером в словаре, и если его там нет, слово подвергается последовательному анализу. Например, благодаря умению учитывать фонетические особенности разных языков, ORATOR добился значительных успехов в произнесении имен. Скажем, звук "J", в имени Жан-Клод (Jean-Claude) он произносит как мягкий звук "ж" французского языка, хотя ту же букву в имени Джин (Jean) он произносит по-американски "дж", как в слове "джинсы". Однако главное достоинство системы проявляется в правилах перехода от букв к звукам", — отмечает Шпигель. Они достаточно полны, чтобы ORATOR мог правильно произносить большинство имен, но не достаточны для чтения произвольного текста.

После того, как ORATOR извлекает полуслоги из обширной коллекции компьютеризованной речи, он скла-

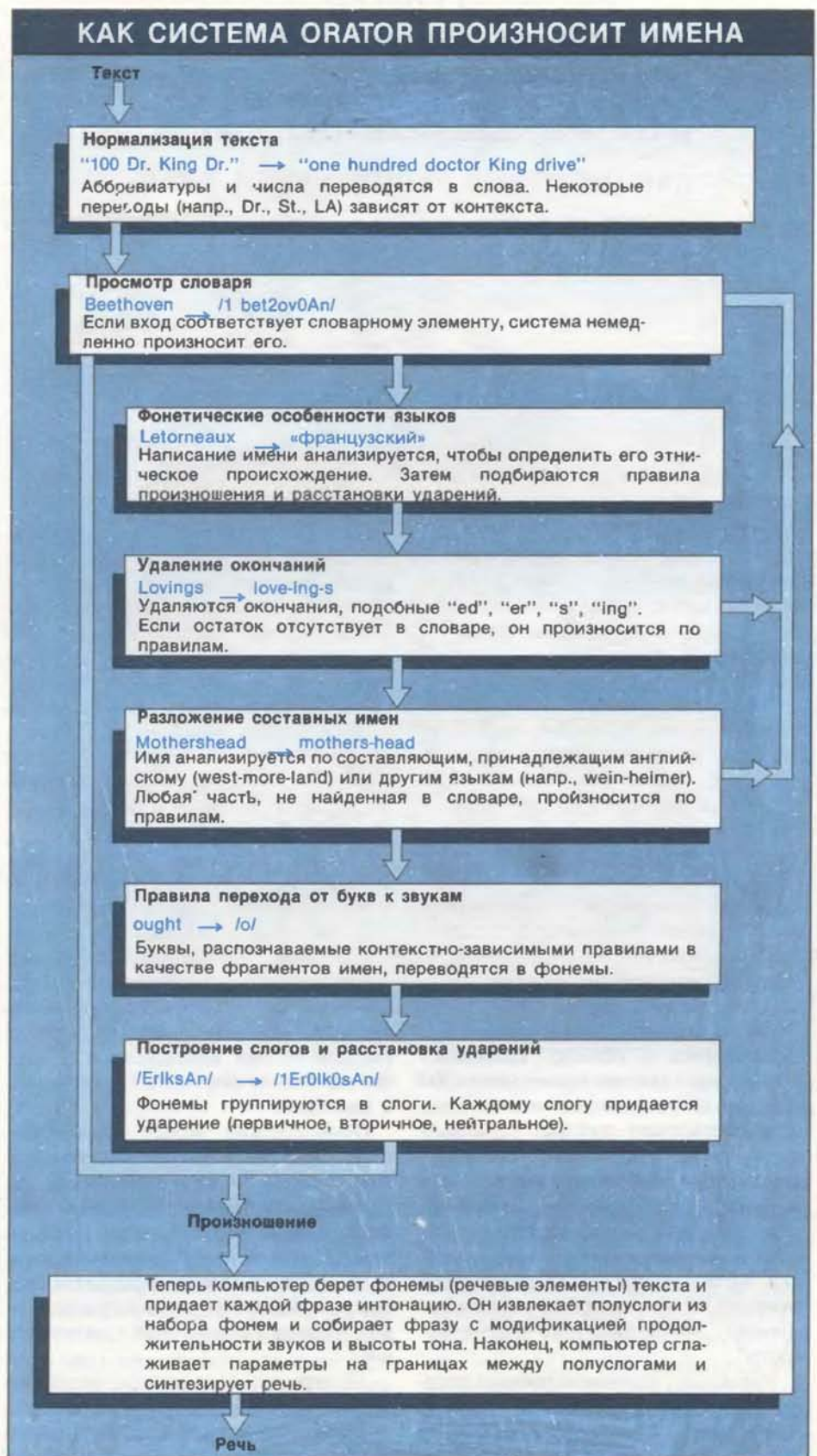
дывает их в нужной последовательности и сглаживает границы между звуками. Однако это сглаживание остается неполным. Ритм стаккато способствует ясности восприятия, говорит Шпигель.

Телефонные компании планируют ввести ORATOR в эксплуатацию в ближайшем будущем. Когда клиент звонит, чтобы задать вопрос относительно полученного счета, компьютер (вместо оператора) может назвать ему имя, адрес, соответствующие данному номеру. Он может также выполнять функции диспетчера, направляющего ремонтные бригады на работу. Рабочие могут набрать номер телефона своей конторы и, назвав соответствующий пароль, получить указание: "Go to Joe's house on St. John's Place in Brooklyn" (Отправляйтесь в дом Джо на площади Святого Джона в Бруклине). В названии St. John's система правильно трактует аббревиатуру St. как "святого" — saint, а не как "улицу" — street.

Разработчики системы ORATOR предсказывают, что в конечном итоге она обеспечит целый ряд новых услуг абонентам телефонной связи. Она, в частности, позволит организациям давать более разнообразную информацию, придавать ей менее официальный характер. Например, ответ по телефону может звучать так: "Хозяйственный магазин Генри переехал и вы можете связаться с ним по телефону 345-9276". Как говорит Жанна Кэнтин, генеральный менеджер справочной телефонной службы в Нью-Йорке, в настоящее время их служба не может предоставить тому же Генри возможность сообщить, что его магазин открыт в такие-то часы, и что сегодня им завезли гвозди, однако вскоре это станет возможным.

Аналогичным образом медицинские страховые учреждения могут дать своим клиентам номер телефона, по которому те могли бы прослушать список врачей, одобренных страховым учреждением в данном районе. Синтезатор речи мог бы также передавать сообщения, получаемые по звуковым каналам от людей (или от автоматизированных банковских "клерков"), реагируя на определенные коды пользователей. "Все теперь жалуются, что в современном обществе слишком много информации передается в виде цифр и она оказывается обезличенной. Здесь же, когда ваше имя правильно произносится, вы чувствуете, что наконец с вами обращаются как с человеком", — говорит Шпигель.

Однако по поводу некоторых применений системы ORATOR возникают вопросы. "Нельзя внедрять техно-



логию просто на том основании, что она существует. Мы должны выяснить какое влияние она окажет на наших сотрудников, на пользователей, как она затронет правовые аспекты и какова будет ее стоимость", — считает Кэнтин. Тем не менее, Шпигель убежден, что усовершенствованные

версии системы ORATOR найдут себе широкое применение. "С каждым новым улучшением сфера применения этой технологии будет становиться все более широкой", — заявляет он. А пока предусмотрительные компании, по-видимому, изучают возможности и свойства этой технологии.

Энциклопедия химических и биомедицинских препаратов; как работали выдающиеся умы; пол и смерть у простейших



ФИЛИП MORRISON

КАТАЛОГ ФИРМЫ MERCK: Энциклопедия химических, биологических и медицинских препаратов. Под редакцией *Сусан Будавари, Мариадел Дж. О'Нейл, Энн Смит и Патриции Е. Хекельман*. THE MERCK INDEX: AN ENCYCLOPEDIA OF CHEMICALS, DRUGS, AND BIOLOGICALS, edited by Susan Budavari, Maryadele J. O'Neil, Ann Smith and Patricia E. Heckelman. Eleventh edition. Merck and Co., Inc. 1989 (\$ 35)

В 1889 г. одна из фирм специализирующихся на выпуске химической продукции, опубликовала аннотированный каталог изготавливаемых лекарств и химических препаратов. За прошедшее столетие каталог, превратившийся в книгу, регулярно переиздавался, с каждым разом увеличиваясь в объеме. Нынешнее (юбилейное) издание насчитывает 300 страниц и своим внушительным видом напоминает пухлый толковый словарь. Оно представляет собой энциклопедию важнейших веществ животного, растительного и минерального происхождения и содержит данные об их природе и области применения. Хотя каталог не ограничивается рамками медицины, он во многом сохраняет "медицинскую направленность".

Указатель, сопровождающий каталог, насчитывает около 80 тыс. наименований. В настоящее время известно более миллиона химических соединений. Разумеется, не все можно найти в настоящем издании: оно не охватывает гастрономических блюд и сплавов металлов, поэтому читатель тщетно будет искать там рецепт бостонского пирога с кремом, состав сельтерской воды или бронзы. Около 6 тыс. соединений сопровождаются структурными и 2 тыс. — обычными формулами. Из нескольких тысяч известных минералов отобраны при-

мерно 200 наиболее распространенных, среди них — галенит, реальгар, алмаз, лазурит.

Читатель сможет погрузиться в атмосферу старых аптек с их шкафами, уставленными рядами склянок. Тут и галандский бальзам (не путать с канадским бальзамом), и сурьмяной цвет, и корень мандрагоры, и даже йогурт.

Весьма разнообразен и набор веществ, используемых в парфюмерии, а также ароматических веществ, употребляемых в качестве приправ и специй. Восемь страниц отведено различным маслам, включая бергамотовое, иссоповое, эвкалиптовое и артаботрисовое. Читатель сможет также пополнить свои сведения об амбре, пчелином воске, миррисе; грушанка и ваниль больше не числятся в этом разделе — они перекочевали в мир синтетических формул в виде карвона и ванилина.

Относительно новые химические вещества и реактивы, используемые в лабораториях и на производстве, не столь многочисленны. Среди них можно назвать ализариновые красители (красный, синий, зеленый и желтый), арсенид галлия и ферриты, используемые в переносных транзисторах, тефлон и аммиачный триметилмин.

Центральным разделом книги является фармацевтический. Его украшают сложные структуры (примерно по 3 на страницу), начиная с аспирина и кончая азидотимидином; последний — известный также под названием зидовудин, — будучи ингибитором фермента обратная транскриптаза, является лекарством от СПИДа. Сложные названия, вытянутые в цепочки, такие, как 2 [4-изобутилфенил] пропиновая кислота, также встречаются на страницах книги. Из самых последних медицинских средств представлены лишь интерферон, гормо-

ны, моноклональные антитела и некоторые другие препараты, получаемые биотехнологическим путем. В одной из прилагаемых таблиц собраны сведения о различных средствах, применяемых при химиотерапии рака; 20 страниц книги отведено названиям и адресам компаний, производящих медикаменты. Этот раздел, несомненно, существенно пополнится в последующих изданиях.

Вещества, находящиеся под контролем, как натуральные, так и синтетические, составляют внушительный список; глядя на него, начинаешь сильно сомневаться в том, что проблема потребления наркотиков в США (корни которой следует искать на зеленых нагорьях Южной Америки) будет в скором времени решена.

Этот том полезно пролистать каждому, особенно тем, кто серьезно обеспокоен содержимым склянок и упаковок, содержащих отнюдь не продукты питания. Предусмотрительные люди давно стараются не злоупотреблять этими средствами. Каждый, кто познакомится с каталогом, будет восхищен этим свидетельством бурного развития химии. Он послужит ценным материалом для авторов, учителей и библиотекарей.

ТВОРЧЕСКИЕ ЛИЧНОСТИ ЗА РАБОТОЙ: АНАЛИЗ НА 12 ПРИМЕРАХ. Под редакцией *Дорис Б. Уоллас и Хауарда Е. Грубера*

CREATIVE PEOPLE AT WORK: TWELVE COGNITIVE CASE STUDIES, edited by Doris B. Wallace and Howard E. Gruber. Oxford University Press, 1989 (\$ 29.95)

КАК творческие личности достигают выдающихся успехов? Пытаясь найти ответ на этот вопрос, авторы подробно знакомят нас с жизнью людей с необычно высоким творческим потенциалом. Каждый из 12 авторов, внесших свой вклад в этот том, выбрал одного из 8 ученых (от Альберта Эйнштейна до Жана Пиаже) или одного из четырех писателей и художников (от Уильяма Вордсворта до современного скульптора Мелиссы Зинк), чтобы проследить основную линию их хорошо изученного жизненного пути.

В своем предисловии редакторы издания подчеркивают цель совместной работы, проделанной авторами. Если человек становится объектом слишком пристального психологического анализа, считают они, он как бы теряет свою индивидуальность. Напротив, авторы сборника, "сжившись со своими героями", стремились представить их "как обычных живых людей из плоти и крови". Задача пе-

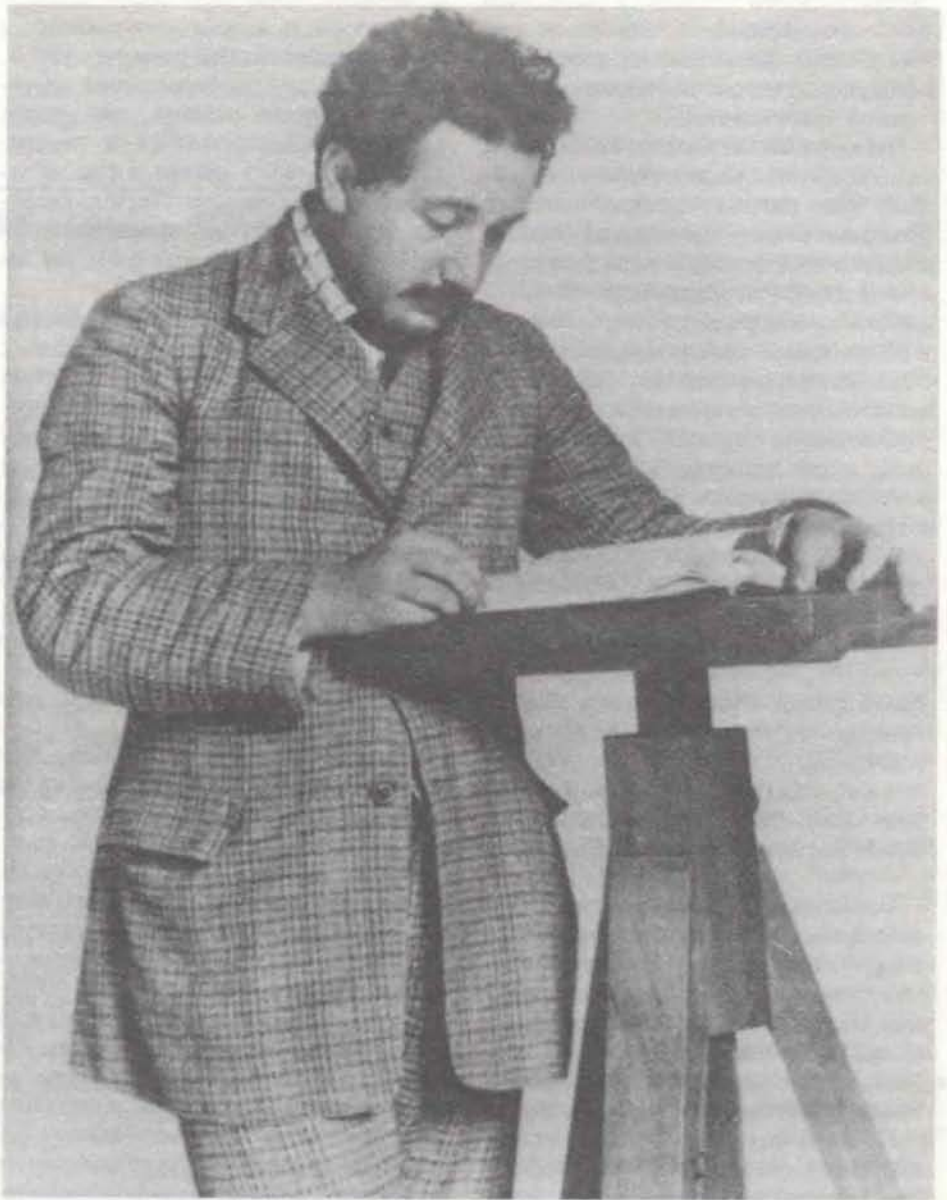
ред ними стояла довольно сложная — не просто констатировать те или иные факты, а дать им научное объяснение. Вряд ли можно обнаружить то общее, что лежит в основе творческой мощи Альберта Эйнштейна, Уильяма Джеймса или Анаис Нин. Вместо этого авторы сборника пытались выделить главные мотивы в творческой деятельности людей, которые вели их к избранной цели.

Конечно, можно было бы сравнивать отдельные моменты из жизни выдающихся умов: впечатления раннего детства, среду, в которой они росли, и даже тот момент, когда каждый из них (кто в ванне, а кто в автобусе) воскликнул: “Эврика!”. Авторы избрали иной путь: представили жизнь каждого из них как единое целое, со всеми ее взлетами и падениями. Вот лишь некоторые примеры.

Фридерик Холмс из Йельского университета, сравнивая в пределах одного очерка двух ученых-химиков — Антуана Лавуазье и Ханса Кребса, — установил ряд интересных фактов. В 30-х годах XX в. Кребс тратил в неделю в пять раз больше времени на научные исследования в лаборатории, чем Лавуазье в 80-е гг. XVIII в. (время правления Людовика XVI). Результаты, полученные Кребсом с помощью современной техники, были гораздо более надежными, чем те, что получил в свое время Лавуазье. И тем не менее, заключает Холмс, — нельзя отдать кому-либо из них предпочтение с точки зрения важности и своевременности полученных ими результатов.

Лавуазье потребовалось 17 лет, чтобы прийти к выводу, что в процессе дыхания поглощается кислород и выделяется углекислый газ. Вначале он считал, что красный цвет крови, обогащенной кислородом, схож с красным цветом окалины ртути, а наличие углекислого газа в выдыхаемом воздухе просто-напросто игнорировал. В конце своей научной деятельности Лавуазье мог провести параллель между дыханием и сжиганием угля в воздухе. За свою жизнь он поставил лишь несколько экспериментов, но все они были очень сложными, хорошо продуманными и глубокими.

Эксперименты Кребса, напротив, были весьма многочисленными, искусными и отличались большим разнообразием. Он проводил исследования по нескольким направлениям в области биохимии. В отличие от Лавуазье Кребс всего за несколько недель пришел к своим первым замечательным выводам. Поначалу его интересовало, каким образом орнитин, необходимый компонент при производстве мочевины из аммиака, может одновременно являться продуктом



АЛЬБЕРТ ЭЙНШТЕЙН с 1902 по 1907 г. работал экспертом в патентном бюро в Берне (Швейцария); считается, что этот период был самым продуктивным в его жизни.

той же самой реакции. Он долго не мог разрешить это противоречие, и, по собственному признанию, объяснение этого феномена не пришло к нему как озарение. Идея о том, что орнитин способствует возникновению исходных материалов для своего собственного образования в результате второй реакции, пришла к нему постепенно, посредством ряда промежуточных умозаключений, каждое из которых не было столь значительным, чтобы оставить заметный след в его памяти. Таким образом, объяснение процесса синтеза мочевины, а позднее создание знаменитой модели реакции азобного окисления явились результатом не столько мгновенной “молнии” озарения, сколько продолжительной “грозы с сильными порывами ветра”.

Один из наиболее интересных очерков посвящен химико-органику Ро-

берту Бернсу Вудворду, о котором рассказывает его дочь Кристал. Еще не достигнув 10-летнего возраста, Вудворд соорудил химическую лабораторию в подвале своего дома в Куинси, шт. Массачусетс. Рассказывают, что в 12-летнем возрасте он воспроизвел все эксперименты, приведенные в классическом немецком учебнике по органической химии. По словам его дочери, “это соответствует действительности”.

Необычайный успех Вудворда отчасти объясняется его популярными способностями и тонким эстетическим вкусом, проявившимся как в лаборатории, так и за ее пределами. Однако главной причиной успеха послужили, разумеется, его выдающиеся научные достижения — от синтеза хинина и пенициллина до работ по квантовой теории — результат его мастерской “оркестровки

молекулярного танца”, который он прослеживал шаг за шагом в серии своих последовательных экспериментов, доставлявших ему истинное наслаждение.

Достижения Вудворда были тесно связаны с его выдающейся личностью. Его ранний научный интерес объясняется скорее не благоприятной комбинацией генов, а удачей естественного отбора. Прекрасно ориентируясь в трехмерном пространстве, он в то же время обладал развитым воображением, логическим умом и неиссякаемым энтузиазмом.

Мой выбор очерков был произвольным, и так получилось, что все они посвящены химикам. Пусть это не смущает читателя: вся книга написана живо и с не меньшим интересом повествует о других выдающихся творческих личностях.

Грэхем Белл. Пол и СМЕРТЬ у ПРОСТЕЙШИХ: ИСТОРИЯ ОДНОЙ НАВЯЗЧИВОЙ ИДЕИ

SEX AND DEATH IN PROTOZOA: THE HISTORY OF AN OBSESSION, BY Graham Bell. Cambridge University Press, 1988 (\$ 44.50)

Остроумная, хорошо и доходчиво написанная, эта книга — вовсе не история зоологии простейших организмов, а своего рода занимательная общая теория полового процесса, не обходящая вниманием также многоклеточные организмы, раковые заболевания, вопросы старения и смерти.

Первая половина книги — критический обзор накопившейся за столетие литературы по жизненным циклам простейших. Здесь описываются долговременные лабораторные наблюдения за отдельными клонами (“11 тыс. поколений инфузории-туфельки” — запоминающееся название одной из работ, вышедшей в 1926 г.). Остальные главы — хитроумный экскурс в более теоретическую область: эволюция пола рассматривается в контексте общей эволюционной теории и объясняется с помощью концепций, расчетов и результатов экспериментов популяционной генетики.

Цель полового процесса можно представить, используя давно известную метафору. Самовоспроизводящаяся машина — это устройство, способное собрать любую конечную конструкцию, которую она обучена строить, независимо от количества отдельных частей. Подробные инструкции по сборке представлены длинной лентой, которая должна копироваться и периодически вводиться в машину. Однако процесс копирования вносит ошибки; они, хотя и редки, даже же случаются и накапливаются, даже если есть программа их исправления.

Собственно, наиболее опасны ошибки, вносимые в ходе копирования и корректировки самих этих программ. Даже если существует вторая система исправления ошибок, она также должна реплицироваться и передаваться дальше, а значит и она не застрахована от ошибок. Отсюда следует, что конечная самовоспроизводящаяся машина не может быть ни неизменной, ни бессмертной.

Живое устроено гораздо сложнее такой модели, поэтому сравнение с машиной не вполне точно. Г. Мюллер провел аналогию между естественным отбором и рулеткой, неуклонно вращающейся в одном и том же направлении, пока существует популяция. Давление мутаций и естественный отбор действуют медленно, приводя популяцию к генетическому равновесию через много поколений. Хотя у каждого организма адаптивными в данной среде являются многие гены, не каждый ген можно считать оптимальным.

Из-за игры случайностей даже лучшие линии эволюционного развития неизбежно исчезают. Рулетка продолжает медленно вращаться; ставки, сделанные жизнью, проигрывают, и популяция постепенно вымирает. Предположим, что существует идеальная, т. е. без ошибок генетической информации популяция, и каждый ее представитель за всю свою жизнь может произвести только одного потомка. Согласно расчетам автора, такая популяция выдержит “игру в рулетку” на протяжении не более 1000 поколений при стандартных значениях скорости мутирования и селективного преимущества.

Однако в реальной жизни случайностей рулетки можно избежать. Самый простой способ — увеличение численности: если популяция растет, то она процветает. Речь здесь идет о больших числах; клеточная популяция, включающая более 10^{12} клеток, может противостоять рулетке своей плодовитостью. Этим можно объяснить изобилие одноклеточных организмов; способные к самовоспроизведению, они были первыми живыми существами на Земле и господствовали в течение 4/5 геологического прошлого.

Машинная модель показывает, что уязвимость наиболее высока на двух стадиях воспроизведения: когда копируются и исправляются ленты с инструкциями и когда отдельные части собираются в единое целое. Подобным образом разделена репликация у многоклеточных организмов: линии половых и соматических клеток резко различаются и у крошечной нематоды, и у человека. Белл подчеркивает разницу между этими двумя кле-

точными линиями на протяжении всей книги, предполагая, что корректировка в соматических клетках происходит не так, как в половых. Линия последних, считает он, стареет по мере вращения рулетки, медленно накапливая не особенно вредные ошибки.

Напротив, старение соматических клеток создает столкновение интересов организма. Естественный отбор благоприятствует таким типам развития, которые ведут к раннему размножению, хотя оно и связано с последующими функциональными потерями. В процессе старения органы выходят из строя не из-за случайного накопления мутаций в соматических клетках, а скорее вследствие медленного снижения эффективности общих репарационных механизмов.

Продолжительность жизни культур тканей многоклеточных организмов обсуждается уже давно. Раньше считалось, что изолированные клетки в принципе бессмертны, но это было опровергнуто в 60-е годы, когда выяснилось, что человеческие клетки реплицируются в ходе развития всего 40—60 раз (взрослый человек формируется из оплодотворенной яйцеклетки в результате примерно 37 синхронных клеточных делений). Разительное исключение — клетки опухолей, многие типы которых, по-видимому, делятся неограниченно. У таких клеток почти всегда необычный кариотип (набор хромосом). Автор пишет: “Безусловно, есть какая-то связь между кариотипом и продолжительностью жизни клона, но что за механизм при этом действует — совершенно неясно”.

Ответ живого на клональное старение — половой процесс, который не обязательно связан с разделением полов и даже с размножением. У инфузорий в половой процесс, называемый конъюгацией, вступают две клетки и в результате остаются также две клетки. Здесь цель — обеспечение информационного разнообразия путем перетасовки генов двух различных линий поколений. На самом фундаментальном уровне половой процесс позволяет исправлять поврежденную генетическую ленту благодаря сложному механизму перемещения сегментов ДНК. На следующем уровне половой процесс, так сказать, опережает вращение рулетки, создавая независимый источник изменчивости, которая может устранить вредные мутации.

Удивительно, однако, что этот процесс сохраняется (хотя затраты на него весьма велики) у организмов, обитающих в давно существующих сложных и стабильных экотопах и уже обладающих значительной гене-

тической изменчивостью. Белл предполагает, что он адаптивен в условиях, когда организмы интенсивно конкурируют между собой. Вспомним, например, «гонку вооружений» меж-

ду паразитом и его хозяином, между хищником и его жертвой.

Эта своеобразная, увлекательная и разносторонняя книга должна заинтересовать широкого читателя.

«Авторизованная» биография

ПРИСИЛЛА ДЖОНСОН МАКМИЛЛАН

Стэнли А. Бламберг, Луис Г. Панос. ЭДВАРД ТЕЛЛЕР: ГИГАНТ ЗОЛОТОГО ВЕКА ФИЗИКИ

EDWARD TELLER: GIANT OF THE GOLDEN AGE OF PHYSICS, by Stanley A. Blumberg and Luis G. Panos. Charles Scribner's Sons, 1990

ЗА ТРИ ДЕСЯТИЛЕТИЯ, прошедшие с осени 1949 г., когда «заключительные рекомендации» Эдварда Теллера помогли склонить президента Гарри Трумэна к принятию программы по созданию водородной бомбы, и до осени 1982 г., когда президент Рональд Рейган с энтузиазмом поддержал сомнительную идею звездных войн, предложенную ему Теллером, последний прославился своим поистине магическим влиянием на умы власть имущих. Следуя его советам, США тратили миллиарды долларов на ядерное оружие и неоднократно срывали инициативы по контролю над вооружениями.

Казалось бы, трудно найти более заманчивый материал для биографа! Как захватывающе интересно можно было бы написать об этой удивительной фигуре: ученый-физик, выходец из Венгрии, к советам которого многие годы прислушивались американские президенты, человек, игравший столь важную роль в формировании политики США в области вооружений, да к тому же замешанный в одном из самых скандальных процессов эпохи маккартизма.

Теллер родился в Будапеште в 1908 г. и получил образование в Европе (среди его учителей были такие знаменитые физики, как Вернер Гейзенберг и Нильс Бор). В 1935 г., получив приглашение занять место профессора в Университете Джорджа Вашингтона, Теллер перебирается в Америку. В 1941 г. Энрико Ферми высказывает предположение о том, что в дейтерии с помощью реакции деления ядер можно вызвать реакцию синтеза. Одержимость этой идеей и страх перед коммунизмом побудили Теллера искать доступы в коридоры власти в Вашингтоне, где он мог бы оказывать влияние на выработку государственной политики.

К сожалению, рецензируемая книга представляет собой «авторизованную» биографию. Она предлагает нам теллеровский взгляд на все события, начиная со времен холодной войны и гонки вооружений и кончая разработкой стратегической оборонной инициативы (СОИ). Авторы пытаются оставить за Теллером последнее слово в таких спорных вопросах, как его претензии на исключительное авторство на изобретение водородной бомбы, его утверждение о том, что Советский Союз, а не Соединенные Штаты первым произвел испытание водородной бомбы, доставляемой к цели, а также по проблемам ядерной зимы и безопасности реакторов. Сюда же относятся и прозвучавшие в адрес Теллера обвинения в том, что он ввел в заблуждение администрацию Рейгана относительно возможностей рентгеновского лазера — ключевого элемента в оборонительной системе, именуемой звездными войнами.

В распоряжение исследователей поступает все больше рассекреченных документов, касающихся роли Теллера как ученого-физика и советника по вопросам политики. Однако Бламберг и Панос не проявляют интереса к этим материалам. В их книге мы не встретим ни одной ссылки на документы, ставшие достоянием обществу благодаря принятию Закона о свободе информации, в частности на беседу Теллера с сотрудником ФБР в 1952 г.

Основными источниками для этого издания послужили вышедшая в свет в 1976 г. биография Теллера (Бламберг был одним из ее авторов), а также ряд интервью, взятых у ученого в конце 70-х и в 80-х гг. Бламбергом и Паносом, печатающимся в газете «Балтимор Сан». Авторы воспользовались также заявлением, которое Теллер передал в 1979 г. своему другу Джорджу А. Киворту, физику из Лос-Аламоса, ставшему советником президента Рейгана по науке, и перепиской между Теллером и Гансом Бете (нобелевским лауреатом, почетным профессором физики Корнеллского университета), касающейся СОИ.

Эти материалы, однако, дают весьма противоречивый портрет Теллера. Вот перед нами ученый в кругу коллег, «ужасный ребенок», которому все эти годы многое пришлось за его оригинальность мышления. А вот Теллер-политик, чей страх перед коммунизмом и одержимость идеей ядерного вооружения в течение 40 лет определяли направление его политической деятельности. Вместе с тем, знакомясь с этим портретом Теллера, прислушиваясь к его хотя и напористым, но уязвимым аргументам в свою защиту, мне казалось, что я слышу и нечто другое — голос нечистой совести.

Теллер с самого начала выступал за создание водородной бомбы. Когда Роберт Оппенгеймер, будущий руководитель Манхэттенского проекта, в июле 1942 г. организовал в Калифорнийском университете в Беркли конференцию по решению вопросов, связанных с созданием атомной бомбы, Теллеру удалось перевести дискуссию на обсуждение разработки термоядерного оружия.

Когда в 1943 г. в Лос-Аламосе начались работы по созданию атомной бомбы, Теллер опасался остаться в стороне, поскольку он имел родственников в оккупированной гитлеровцами Венгрии. Но благодаря усилиям Оппенгеймера он получил разрешение работать в Лос-Аламосе. Тем не менее Теллер отказался возглавить группу по проведению детальных расчетов, необходимых для конструирования атомной бомбы. Оппенгеймер и Бете, руководитель отделения, вскоре совсем отстранили его от работы на этом этапе. В статье, опубликованной в журнале «Los Alamos Science» в 1982 г. (она была написана в 1954 г. и оставалась засекреченной в течение 28 лет), Бете отмечает, что «после двух неудач Теллер был освобожден от участия в работе по созданию в военное время атомной бомбы».

Он продолжает работать над осуществлением термоядерной реакции и в апреле 1946 г. принимает активнейшее участие в лос-аламосской конференции, на которой были подведены итоги исследований по «Суперу» (так именовалась водородная бомба, пока еще находившаяся в стадии разработки). В конце конференции Теллер распространил среди собравшихся свой проект отчета, который, по мнению одного из участников, Роберта Сербера — физика из Калифорнийского университета в Беркли, — представлял дело чересчур оптимистически, если не искаженно. Сербер обратил на это внимание Теллера, и вдвоем они переписали отчет, так что он хотя и «остался оптимистичным, но не до

смешного». Каково же было удивление Сербера, когда три месяца спустя он наткнулся в библиотеке на опубликованный отчет: Теллер вернулся к своему первоначальному варианту!

Публикация этого отчета имела далеко идущие последствия. Официальные представители из Вашингтона, которые уже ознакомились с отчетом, пришли в ужас, когда выяснилось, что Клаус Фукс, один из участников лос-аламосской конференции 1946 г., был агентом иностранной разведки. Впрочем, как говорят сегодня ученые, присутствовавшие на этой конференции, вряд ли тогда произошла утечка информации, представлявшей интерес для Советского Союза.

Летом 1949 г., когда СССР впервые произвел испытание атомной бомбы, сенатор Брайн Макмагон, председатель Совместного комитета конгресса по атомной энергии, Льюис Штраус, один из пяти членов Комиссии по атомной энергии, и высокопоставленные чиновники Пентагона бросились собирать голоса в поддержку проекта по созданию водородной бомбы. В своей закулисной кампании, длившейся четыре месяца, они опирались на доводы Теллера и Эрнста О. Лоуренса, директора Радиационной лаборатории в Беркли, о том, что проект «Супер» может быть вполне осуществлен.

Главный консультативный комитет (ГКК) — группа авторитетных ученых при Комиссии по атомной энергии — придерживался иного мнения. На совещании в октябре 1949 г. ГКК, возглавляемый Оппенгеймером, единогласно (восемью голосами из восьми) проголосовал против «ударной программы» по созданию «Супера». Впоследствии Консультативный комитет не раз обвиняли в том, что он руководствовался скорее моральными соображениями в отношении водородного оружия, однако решение ученых в основном определялось соображениями практического характера. По их мнению, в то время вероятность успешного осуществления проекта «Супер» была не более 50%.

Кроме того, члены Комитета считали безответственными любые попытки использовать и без того скудные запасы делящегося материала и отвлекать физиков от программы создания атомной бомбы для осуществления сомнительного проекта. Они также опасались, что испытания нового оружия приведут к утечке в Советский Союз ценной информации, что позволило бы ему ускорить осуществление собственной программы. Кроме того, по их мнению, от создания термоядерного оружия выиграл бы Советский Союз, поскольку в от-

личие от него крупные города в США сосредоточены вдоль двух побережий и потому более уязвимы.

Отрицательное мнение, высказанное ГКК, вызвало недоумение у многих ученых, работавших в Лос-Аламосе, включая директора проекта Норриса Брэдбери. Однако после 31 января 1950 г., когда по окончании закрытых дебатов президент Трумэн официально объявил о решении США приступить к созданию водородной бомбы, их энтузиазм заметно возрос. Вопреки многим современным публикациям Трумэн почти наверняка принял окончательное решение еще до того, как узнал о том, что Фукс передал Советскому Союзу сведения, касающиеся Манхэттенского проекта и Конференции 1946 г. по водородной бомбе. В марте же 1950 г., когда Трумэн издал вторую и более строгую директиву относительно водородной бомбы, ему, несомненно, было известно об этих фактах.

Оставалось лишь сконструировать бомбу, а это, как и предсказывал Консультативный комитет, оказалось не так-то просто. В 1950 г. математик польского происхождения Станислав Улам, работавший в Лос-Аламосе, совместно со своим коллегой Корнелиусом Эвереттом обнаружил ошибки в расчетах, сделанных Теллером в 1946 г. Дальнейшие исследования, проведенные Ферми и Уламом, заставили ученых усомниться в возможности осуществления термоядерной реакции в дейтерии. Результаты этих исследований показали, как сообщал в мае 1952 г. Бете в письме (раскритикованном в июле 1987 г.) члену Комиссии по атомной энергии Гордону Дину, что «все исходные пункты программы 1946 г. оказались ошибочными».

В своей статье, опубликованной в журнале «Los Alamos Science» в 1982 г., Бете пишет: «То обстоятельство, что Уламу пришлось проделать эти расчеты, свидетельствует о том, что план создания водородной бомбы по «ударной программе», предложенной Теллером осенью 1949 г., был преждевременным». По словам Бете, физики из Лос-Аламоса обвиняли Теллера в том, что он «втянул лабораторию, да и всю страну, в сомнительную программу, основываясь лишь на расчетах, которые (как он должен был прекрасно понимать) являлись весьма неполными». Сербер характеризует ситуацию проще: «Они чувствовали себя одураченными».

«Неотразимые» (по выражению Бете) результаты, полученные Уламом, оказались для Теллера тяжелым ударом. Жена Улама Франсуаза вспоминает, что слышала из соседней

комнаты, как Теллер раздраженно требовал все новых и новых доказательств, пытаясь найти ошибки в расчетах Улама—Эверетта. Совместная проверка решения сложной научной задачи превратилась, по ее словам, в «битву, исполненную поистине гомеровских страстей». Итак, в конце 1950 г. ситуация складывалась для Теллера далеко не благополучная.

Однако по прошествии нескольких недель все изменилось. Улам, продолжавший размышлять о двухступенчатом ядерном заряде, заявил как-то жене за завтраком, что ему пришла в голову идея, которая, возможно, все же позволит реализовать проект «Супер». Идея состояла в том, чтобы вызвать сжатие водородного сердечника с помощью ударных волн от взрыва атомного «запала» внутри бомбы. Франсуаза Улам, помня о недавнем негодовании Теллера, посоветовала мужу, прежде чем ставить в известность Теллера, проверить, как отнесутся к этой идее сотрудники лаборатории. После завтрака Улам зашел к Карсону Марку, главе теоретического отдела, а затем к Брэдбери. Последний сразу же оценил значение этой идеи и отправил Улама к Теллеру.

Встретились они на следующий день. Сперва атмосфера была несколько напряженной, но Теллер быстро разобрался в предложениях Улама и вскоре добавил к ним собственную идею: использовать для сжатия сердечника не механическое давление, а излучение. «В последующие дни я несколько раз виделся с Эдвардом, — писал впоследствии Улам, — и мы по получасу обсуждали проблему. Я написал черновой вариант отчета, затем Теллер внес кое-какие поправки, и вскоре совместный отчет был готов». Этот отчет — «О гетерокаталитических взрывах в гидродинамических линзах и радиационных зеркалах», — зарегистрированный в Лос-аламосской лаборатории 9 марта 1951 г., до сих пор остается засекреченным.

Бламберг и Панос знакомят нас с иной версией этих событий, приводя обширную выдержку из послания, продиктованного Теллером Киворту в 1979 г.:

«Улам пришел ко мне и заявил: «Я знаю, как сделать «Супер». Нужно сжать материал».

«Да», — сказал я.

«Затем он продолжал: «Можно, например, использовать ядерное взрывное устройство и поместить его в круг нескольких контейнеров так, чтобы получилась конструкция, напоминающая звезду, а затем наполнить их дейтерием. Тогда при взрыве они

подвергнутся сжатию, и все сработает».

«Стэн, — сказал я, — это простейший способ, и он мог бы подойти нам, но у меня есть идея получше. Сжимать нужно *не механически*. Сжатие должно происходить за счет *излучения!*»

«Затем я предложил: «Давай я изложу обе эти идеи в статье и каждый из нас подпишет ее».

«Теперь вы знаете, как все было», — завершает Теллер свое послание. «Идея принадлежала не Уламу, и не Улам написал эту статью».

После этого разговора Теллер просто-напросто отпихнул Уламу в сторону.

С тех пор они практически не общались друг с другом. В 1979 г., отвечая на вопрос Бламберга и Паноса, правда ли, что Улам нашел выход из тупика, Теллер отрезал: «Ничего Улам не нашел!»

Улам был не единственной мишенью для нападок Теллера. По его мнению, Брэдбери и вся Лос-Аламосская лаборатория не проявляли должного энтузиазма в разработке водородной бомбы. Как пишет Теллер в своем меморандуме 1952 г., рассекреченном два года назад, работа в этом направлении в Лос-Аламосе практически не сдвинулась с места за период с весны 1946 до 1950 г.

Восьмого февраля 1950 г. (как раз тогда, когда Улам трудился над расчетами) Теллер отправился в Вашингтон к Мэрион Бойер, главному управляющему Комиссии по атомной энергии. Согласно недавно опубликованным «Дневникам Гордона Дина», Теллер предложил создать новую лабораторию и перевести всю работу по проекту из Лос-Аламоса туда. В тот же день член Комиссии Штраус, союзник Теллера, посетил Дина и выразил свое недовольство Лос-Аламосской группой. Из разговора стало ясно, что он также положительно смотрит на создание новой лаборатории.

Два месяца спустя, после спасительного «перелома», произошедшего в работе, Теллер собственноручно посетил Дина. Как видно из дневниковых записей последнего, Теллер подробно изложил ему свой взгляд на ход работ по созданию водородной бомбы, ни разу не упомянув имени Уламу. При этом он не забыл пожаловаться на Брэдбери и даже пригрозил уходом из лаборатории. Следующей осенью, когда Брэдбери назначил Маршалла Холлоуэя (не теоретика, а инженера) главой программы по созданию водородной бомбы, Теллер покинул лабораторию.

Но к этому времени он имел такую мощную поддержку в Пентагоне и в

Совместном комитете по атомной энергии при конгрессе (но не в Комиссии по атомной энергии и не в ГКК), что ВВС США выделили ему средства для организации исследовательских работ в Чикаго. В марте 1952 г. министр обороны Роберт А. Лоуэнт поддержал идею открытия второй лаборатории, и Комиссия по атомной энергии была вынуждена дать на это свое согласие. Летом того же года Теллер при содействии Лоуренса основал лабораторию в Ливерморе (шт. Калифорния). Известная как Ливерморская национальная лаборатория им. Лоуренса, она с тех пор служит надежным научным пристанищем Теллеру.

Среди противников создания новой лаборатории был председатель ГКК Оппенгеймер. Когда президент Трумэн рассматривал вопрос о его повторном назначении на этот пост, Теллера посетил сотрудник ФБР, которого интересовала личность Оппенгеймера.

Из донесения этого сотрудника от 14 мая 1952 г.: «Теллер утверждает, что интересующее нас лицо было противником создания водородной бомбы начиная с 1945 г., и полагает, что бомба была бы готова по крайней мере год назад, если бы не противодействие Оппенгеймера». Теллер также сказал, что, хотя у него нет доказательств, ему кажется, что Оппенгеймер настроивал ученых против работы над водородной бомбой, добавив впрочем, что не считает мотивы, двигавшие Оппенгеймером, «подрывными». Скорее, пояснил Теллер, Оппенгеймер действовал так из «тщеславия, не желая допустить возможности, что работа по созданию водородной бомбы будет выполнена лучше, чем руководимая им работа по созданию атомной бомбы, и он ... считал, что в политическом отношении водородная бомба нежелательна». Наконец, как сказал Теллер, «сам он предпринял бы все возможное, чтобы интересующее нас лицо было отстранено от работы в ГКК».

Две недели спустя Теллер вновь встретился с сотрудником ФБР. К своим прежним высказываниям он добавил, что «в молодости Оппенгеймер был подвержен некоторым физическим или душевным расстройствам, которые, возможно, постоянно влияли на него. К тому же он хотел достигнуть в науке очень многого и сознает, что не стал тем великим физиком, каким мечтал стать». Подчеркнув, что он вовсе не считает Оппенгеймера «нелояльным», Теллер выразил пожелание, чтобы об этой беседе не стало известно его коллегам, поскольку это поставит его в

очень неловкое положение и нанесет ущерб его авторитету как руководителю программы по созданию водородной бомбы.

Представитель ФБР прекрасно понимал, о чем идет речь. В конце беседы он записывает: «Программе будет нанесен значительный ущерб, если Теллеру придется порвать свои связи». ФБР так тщательно хранило в секрете запись этой беседы, что никто из прежних коллег Теллера, включая Бете, которому я показала эту запись в 1986 г., совершенно ничего не знали об этой беседе. Однако в Белый дом запись беседы была отослана. Известно, прочел ли ее Трумэн, но он не назначил Оппенгеймера повторно на пост председателя ГКК.

К этому времени у Оппенгеймера были проблемы посерьезнее. Эпоха маккартизма была в самом разгаре, и он неминуемо «попал на заметку» из-за противодействия созданию второй лаборатории и «ударной программе»; кроме того, у него были разногласия с ВВС и по другим вопросам. Неприятности ему грозили еще и потому, что в 30—40-е гг. он общался с людьми, которые придерживались левых взглядов. После закрытого слушания, устроенного по распоряжению президента Дуайта Эйзенхауэра в 1954 г., Оппенгеймер был снят со всех постов, связанных с проведением секретных работ, и ему перестала принадлежать роль главного советника по науке.

В главе, озаглавленной «Прискорбный долг», Бламберг и Панос пытаются выгородить Теллера в истории с делом Оппенгеймера, подчеркивая, что он с большой неохотой согласился стать свидетелем обвинения. Судя по всему, Теллер действительно давал свидетельские показания с тяжелым сердцем и в надежде, что они (как и показания других свидетелей) останутся в тайне. На вопрос обвинителя, считает ли он Оппенгеймера нелояльным, Теллер ответил: «Я не хочу, чтобы мои показания наводили на эту мысль».

Однако он добавил, что часто действия Оппенгеймера казались ему «очень трудными для понимания ... запутанными ... и неясными. Мне хотелось, чтобы решением жизненно важных для страны задач руководил человек, которого я мог бы лучше понимать и которому я, следовательно, мог бы больше доверять». «Лично я чувствовал бы себя более уверенно, если бы дела, представляющие интерес для общества, находились в других руках», — заключил Теллер.

Два месяца спустя, когда правительство нарушило свое обещание и опубликовало материалы слушаний, Теллер стал парией среди своих



Эдвард Теллер в кругу семьи (фото 1953 г.).

коллег-ученых. После этого некоторые из них не разговаривали с ним в течение многих лет. Однако показания Теллера были лишь малой толикой того вреда, который он нанес Оппенгеймеру. На слушаниях по делу этого ученого обвинение использовало выдержки из бесед Теллера с сотрудником ФБР, состоявшихся в 1952 г. Из семи свидетелей, помимо Теллера дававших показания против Оппенгеймера, Уильям Л. Борден и Дэвид Т. Григгс, бывший научный консультант ВВС, были близки к Теллеру, а еще трое — Луис Альварес, Кеннет Питцер и Уэндел Латимер — позже признали, что в основе их показаний лежали сведения, полученные ими от Теллера.

Недавно рассекреченные письма и памятные записки свидетельствуют, что Теллер неоднократно обсуждал возможные побудительные мотивы Оппенгеймера с Борденом, чье письмо в ФБР, в котором говорилось, что «Роберт Оппенгеймер, наиболее вероятно, является агентом Советского Союза», послужило толчком к проведению вышеупомянутых слушаний. Теллер делился своими предположениями и со Штраусом, председателем Комиссии по атомной энергии, чьи рекомендации во многом повлияли на реакцию президента Эйзенхауэра на письмо Бордена. У каждого из троих — Теллера, Бордена и Штрауса — были свои основания для неприязни к Оппенгеймеру, и на протяжении ряда лет они разжигали друг в друге подозрения относительно него.

В последующие годы Теллер, казалось бы, забыл о своей беседе с сотрудником ФБР в 1952 г. Однако это не так: 19 июня 1977 г., предвидя, что

Закон о свободе информации скоро сделает государственные документы достоянием общественности, он обращается в ФБР с просьбой дать разъяснения, что указанная беседа состоялась по инициативе ФБР, а также по возможности вычеркнуть из документа его предложение о выводе проекта по созданию водородной бомбы из-под контроля ГКК или же пояснить, что это предложение следует рассматривать в ином контексте.

Судя по всему, авторы книги ничего не знают о беседе Теллера с сотрудником ФБР в 1952 г., поскольку они утверждают, что «Теллер не участвовал в многолетнем разбирательстве по делу Оппенгеймера» и что «до слушания его никогда не спрашивали по поводу лояльности» этого ученого. Книга содержит и другие неточности. Вот лишь некоторые из них:

— В Лос-Аламосе соседом сверху, которому музицирование Теллера на фортепиано не давало спать по ночам, был не Генри Девульф Смит (во время войны он работал в Принстоне), а Сирил С. Смит с женой Алисой.

— Авторы повторяют утверждение Теллера о том, что теоретическая работа по созданию водородной бомбы почти не велась между 1946 и 1949 гг., добавляя, что «создание бомбы сильно замедлилось из-за бесповоротного решения Ганса Бете не участвовать в разработке». Написанный Марком (главой Теоретического отдела) в 1954 и опубликованный в 1974 г. «Краткий отчет о теоретической работе по созданию термоядерного оружия в Лос-Аламосе, 1946—1950 гг.», шаг за шагом знакомит нас с ходом работ над «Супером» в те годы, отмечая и существенную роль Теллера. Марк пи-

шет, что с 1946 по 1951 г. Бете каждый год приезжал в Лос-Аламос консультировать ученых, занятых разработкой как атомного, так и термоядерного оружия, а в 1952 и 1953 гг. провел здесь в общей сложности одиннадцать месяцев, работая над водородной бомбой.

— Что касается другого утверждения Теллера, согласно которому водородная бомба была бы испытана раньше, если бы не медлительность ученых в Лос-Аламосе, Марк показывает, что сложные расчеты, необходимые для проверки идеи Улама—Теллера, никак не могли быть выполнены раньше из-за отсутствия достаточно мощной вычислительной техники. Создается впечатление, что Бламбергу и Паносу ничего не известно об этой статье Марка.

— Авторы пишут, что Теллер отправил свою знаменитую телеграмму «У нас мальчик!», означавшую успешное испытание водородной бомбы, из Энвистека в мае 1951 г. На самом деле, телеграмма была послана из Беркли в ноябре 1952 г.

— Бламберг и Панос утверждают вслед за Теллером, что русские провели первое испытание водородной бомбы, доставляемой к цели, в августе 1953 г., почти на год раньше американцев. Однако Герберт Ф. Йорк в своей опубликованной в 1976 г. книге: «Советники: Оппенгеймер, Теллер и Супербомба», а также А.Д. Сахаров в автобиографии, вышедшей в свет в этом году, сообщают, что Советский Союз испытал свою первую водородную бомбу в ноябре 1955 г., через полтора года после Соединенных Штатов.

— В книге говорится о том, что в октябре 1987 г. Сахаров якобы «публично признал» вклад Клауса Фукса в советскую программу по созданию атомного и водородного оружия. Американцы, хорошо знавшие Сахарова, свидетельствуют, что он никогда этого не признавал и вообще никогда публично не упоминал имя Фукса.

Несмотря на все свои неточности, книга имеет одно важное достоинство: в ней весьма живо передан образ Теллера, человека, вечно что-то доказывающего, признающего лишь свою точку зрения и всегда настаивающего, что во всех спорах, которыми наполнена его карьера, прав был именно он, а не его оппоненты. Поскольку Теллер до сих пор убежден, что «Империя зла» — это абсолютное зло и что ядерное оружие необходимо, книга, рисуящая его реальный портрет, должна затрагивать величайшие проблемы нашего времени. И такая книга еще не написана.

Смертная казнь

ПОРТУГАЛИЯ отменила ее в 1976 г., Дания — в 1978, Никарагуа и Норвегия — в 1979, Франция — в 1981, Нидерланды — в 1982, Австралия — в 1985, Филиппины и ГДР — в 1987, Камбоджа, Новая Зеландия и Румыния — в 1989, Намибия — в 1990. Тенденция очевидна: все большее число наций приходит к выводу, что высшая мера наказания неправомерна.

Соединенные Штаты — единственная страна среди западных демократий — игнорируют эту тенденцию. Действительно, когда в 1976 г. Верховный суд отменил десятилетний мораторий на исполнение смертных приговоров, американцы восприняли это с мстительным энтузиазмом. Недавние опросы показали, что около 75% населения поддерживает высшую меру наказания, тогда как в 1972 г. эта доля составляла 57%.

Не удивительно поэтому, что политики стремятся перешеголять друг друга в своих аргументах в пользу смертной казни. Тридцать шесть штатов уже утвердили смертную казнь и по крайней мере еще в двух — Нью-Йорке и Аляске — растет движение за присоединение к этому большинству. С 1976 г. по конец мая этого года в разных штатах казнены на электрическом стуле, в газовой камере, смертоносной инъекцией или расстреляны 128 заключенных; более

2300 смертников ожидают подобной участи. Законодатели в отдельных штатах и на федеральном уровне предложили много законов по осуществлению казни и расширению сферы ее применения: наиболее популярная мишень — распространение наркотиков.

Каким целям служит казнь? По мнению таких организаций, как Международная амнистия, Американский союз гражданских свобод (ACLU), Фонд законной защиты и образования — никаким. «Люди, конечно, напуганы и разгневаны жестокими преступлениями в нашей стране, — говорит Генри Шварцшильд из ACLU. — Но смертная казнь — не решение вопроса».

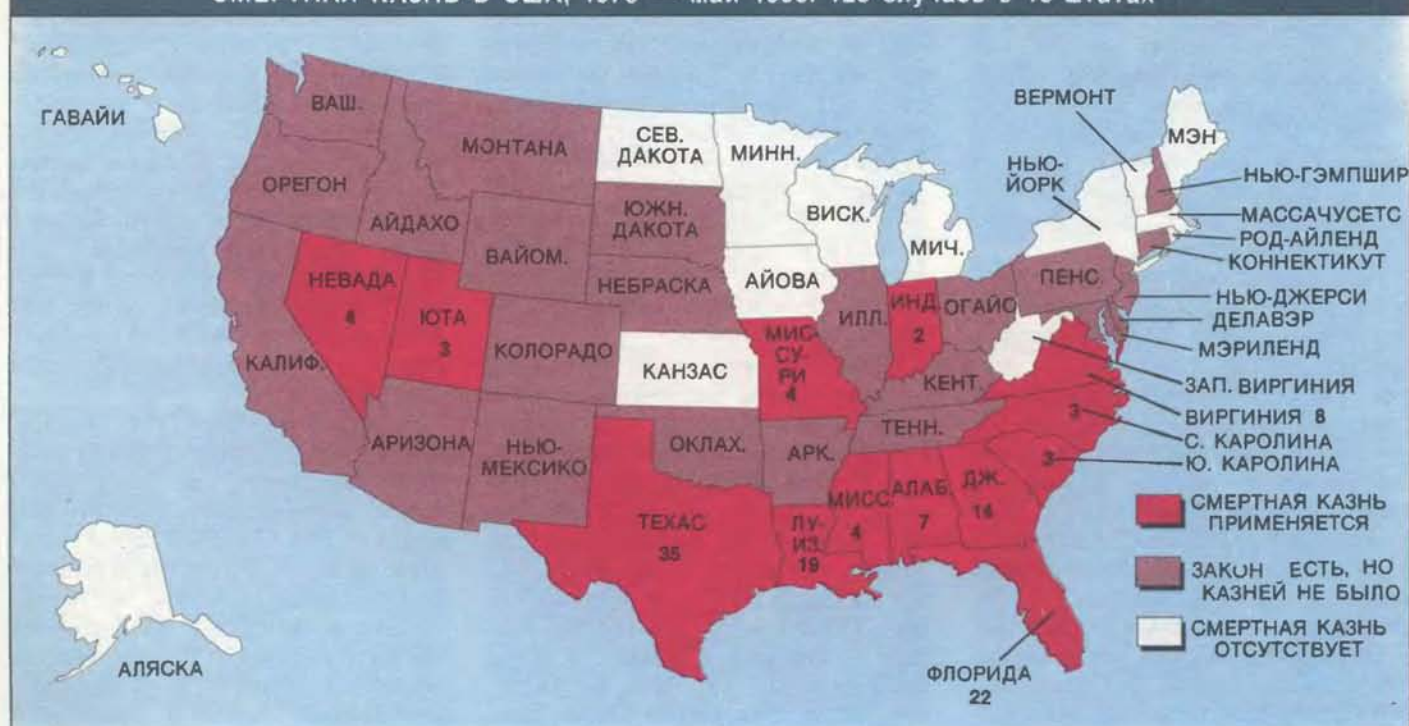
Исследования, которые в течение ста с лишним лет проводятся в США и других странах, говорит Шварцшильд, не доказывают, что высшая мера наказания способствует уменьшению количества убийств и других жестоких преступлений. Напротив, исследования Уильяма Боуэра, криминолога из Северо-Восточного университета, заставляют предположить, что применение казни может приводить в обратному эффекту. Анализируя частоту убийств в шт. Нью-Йорк с 1907 по 1963 г., Боуэрс обнаружил, что число убийств возрастало на цифру в среднем несколько большую, чем два, в месяцы, следующие за исполнением приговоров. Он полагает, что казни, вместо то-

го, чтобы предотвращать акты насилия, провоцируют их, «ожесточая» население.

Конечно, если убийцу казнить, он больше никого и никогда не убьет. Но насколько опасен человек, отбывший срок за убийство? По наблюдениям философа Хьюго Бедо из Университета Тафтса, огласка, которую приобретает повторное преступление освобожденного из заключения убийцы в одном из 12-ти штатов, где смертная казнь не применяется, создает впечатление, что такие рецидивы обычны. На самом же деле, говорит Бедо, процент рецидивистов среди убийц ниже, чем среди других типов уголовных преступников: из 2646 убийц, вышедших из тюрьмы с 1900 по 1976 г., признаны виновными в повторном убийстве 16. Люди, ранее совершавшие другие преступления, убивали гораздо чаще.

Если общество решает полностью избавиться от рецидивизма, указывает Бедо, оно всегда может ограничить досрочное освобождение или запретить его в большем числе случаев. Вопреки установившемуся мнению, пожизненное заключение преступника стоит штату дешевле, чем смертный приговор, утверждает Роберт Спангенберг, адвокат, возглавляющий Бостонский проект юридической помощи. Исследования, проведенные в штатах Канзас, Нью-Йорк и Флорида, показали, говорит Спангенберг, что штаты тратят от 1,6 до 3,2 млн. долл. на то, чтобы вынести и привести в исполнение смертный приговор;

СМЕРТНАЯ КАЗНЬ В США, 1976 — май 1990: 128 случаев в 13 штатах



даже если содержать человека в заключении более ста лет, сумма будет меньше.

Главный фактор, повышающий «стоимость» высшей меры наказания, — это процесс апелляции, который у приговоренных к смертной казни с 1976 г. в среднем тянулся восемь лет. Законодатели намереваются ускорить этот процесс. Верховный суд ограничил возможности подачи апелляции по делам со смертными приговорами на уровне штатов, а в мае председатель Верховного суда Уильям Ренкуист высказался в пользу таких ограничений и на федеральном уровне. Конгресс рассматривает два законопроекта, касающиеся таких ограничений.

Однако даже наиболее решительные из предложенных мер по ограничению апелляций сократят время, проходящее от вынесения приговора до его исполнения, самое большое на два года, считает Спангенберг. Он полагает, что эти меры могут даже увеличить затраты, поскольку будет тратиться больше денег на более скрупулезное первоначальное судебное разбирательство, чтобы уменьшить вероятность пересмотра дела. Ограничение апелляций может также увеличить вероятность судебных ошибок — казней невинных людей. За последние 18 лет по крайней мере 27 человек, приговоренных к смерти, были затем признаны невинными высшими судебными инстанциями. Некоторые из этих пересмотров оказались возможными благодаря разного рода неожиданностям. Невинность Рэндала Адамса, освобожденного в прошлом году после 12 лет пребывания в камере смертников в Техасе, — его осудили за убийство полицейского — была признана только потому, что его делом заинтересовался один деятель кино. Не всем так повезло. С 1900 по 1985 г. 23 американца были казнены за преступления, которых они не совершали. Эти данные содержатся в отчете 1987 г., помещенном в «Stanford Law Review».

Противники смертной казни надеются, что эти факты повлияют на общественное мнение. Во всяком случае, при тех опросах общественного мнения, где опрашиваемый может выбрать для преступника казнь или пожизненное заключение без шансов на освобождение, процент голосов за смертную казнь снижается от 75 до 50 и менее. Эта доля падает еще ниже — до 30%, если в условия вводится денежный штраф, взыскиваемый с преступника в пользу семьи его жертвы.

Противники высшей меры наказания сознают, однако, что число казней в ближайшие несколько лет, веро-

ятно, резко возрастет, потому что многим приговоренным больше некуда подавать апелляции. «Мы исчерпали основные конституционные возможности», — говорит Шварцшильд из ACLU.

Данные по влиянию расового фактора на вынесение смертных приговоров помогли в конце 60-х и начале 70-х годов склонить Верховный суд против высшей меры наказания. Новые исследования показали, что раса жертвы — это наиболее значительный фактор в статистике: 84% убийц, казненных с 1976 г., убили белого, тогда как половина жертв убийств в США — черные. В этот период ни один белый не был казнен за убийство негра.

Три года назад расовый вопрос возник снова, когда Верховный суд рассматривал смертный приговор Уоррену Макклески — негру, обвинявшемуся в убийстве белого офицера полиции в шт. Джорджия. Дэвид Балдус, профессор юриспруденции из Университета шт. Айова, провел исследование, показавшее, что в Джорджии убийцам белых смертный приговор выносился в 4,3 раза чаще, чем тем, кто при таких же обстоятельствах убивал черных. Суд не рассматривал вопроса о систематичности явлений, обнаруженных Балдусом, но постановил, что для отмены приговора защита должна в каждом конкретном случае доказать наличие расовой дискриминации.

Верховный суд также разрешил казнить умственно отсталых и тех, кому в момент совершения преступления было меньше 18 лет. Более 75% заключенных-смертников относятся к этим двум категориям, и по крайней мере четверо из них за последние десять лет были казнены. Последним из них был Дэлтон Преджен, умственно отсталый чернокожий, казненный на электрическом стуле в шт. Луизиана 18 мая с. г. за то, что в возрасте 17 лет застрелил полицейского. Согласно данным Международной амнистии, только в четырех странах — Бангладеш, Барбадосе, Иране и Ираке в последнее десятилетие казнили малолетних преступников.

Кроме Преджена, в мае были казнены еще четверо заключенных. Один из них — Джесс Таферо — был казнен на электрическом стуле 4 мая за убийство двух полицейских во Флориде 14 лет назад. Когда тюремный исполнитель включил ток, электрод на голове Таферо загорелся. Палач выключил ток на шесть секунд, во время которых Таферо — от его головы шел дым — двигался и дышал, и затем снова включил ток. Через шесть минут, после трех ударов током, врач

удостоверил наступление смерти. Казнь на электрическом стуле была введена в Соединенных Штатах 100 лет назад в качестве гуманной альтернативы повешению.

«Умные автомобили»

В ИЮНЕ 25 удачливых водителей, которые регулярно совершают поездки в Лос-Анджелес по шоссе Санта-Моника, стали получать информацию о случившихся на их пути заторах. Эта информация представлялась на экранах, смонтированных в приборные панели, и посредством голоса, синтезированного компьютером. После такого предупреждения водители могли проезжать по улицам города, минуя заторы, и прибывали на работу раньше своих менее удачливых коллег.

Этот небольшой эксперимент стоимостью менее одного миллиона долларов проводится в США в рамках первых испытаний систем IVHS (от intelligent vehicle/highway systems — разумные системы автомобиль/дорога). Взаимодействовать дороге и автомобилю помогает новейшая электронная техника. В случае массового внедрения системы IVHS позволят хотя бы на некоторое время разгрузить автомобильные дороги, спасти сотни человеческих жизней, сэкономить бензин и снизить загрязнение воздуха. Согласно утверждениям сторонников внедрения таких систем на их недавней встрече в Далласе (шт. Техас), «умные» дороги и автомобили обеспечат США ежегодную экономию в несколько десятков миллиардов долларов.

Лос-анджелесский эксперимент, получивший название «Pathfinder» («Следопыт»), подобен нескольким программам, которые в настоящее время проводятся в ряде европейских стран и в Японии. Японские фирмы Toyota, Nissan и Mazda уже продают у себя в стране около тысячи машин в месяц с системами навигации с надбавкой за них до 4 тыс. долл. В США такие устройства, по-видимому, появятся не раньше 1994 г. Но не исключено, что США вскоре наберут темп в этой гонке.

Интерес к системам IVHS обусловлен тем, что закрывать глаза на проблемы транспорта уже более невозможно. Интенсивность уличного движения в США с каждым годом увеличивается на 5%, а средства на решение автодорожных проблем постоянно урезаются, и жители придорожных зон часто выступают против введения различных новшеств, из-за чего соответствующие проекты приходится

откладывать на неопределенное время. "В некоторых местах мы уже приостановили строительство дорог, не доведя их до конца", — говорит Дж. Бриджес, заместитель директора Техасского института транспорта, дорожно-исследовательского консорциума при Техасском университете.

Таким образом, лица, ответственные за развитие транспорта, и представители автомобилестроительных фирм предпочитают решать транспортные проблемы с помощью электроники. Достижения в области полупроводниковой техники создают предпосылки для оснащения автомобилей новыми средствами автоматизации. К числу доступных нововведений можно отнести следующие:

— Системы выбора оптимального маршрута, помогающие водителю достичь пункта назначения, минуя места с наиболее сильными заторами.

— Системы улучшения видимости, которые с помощью инфракрасных датчиков даже сквозь туман позволяют видеть дорогу впереди, изображаемую на дисплее, прикрепленном к ветровому стеклу.

— Адаптивные системы управления скоростью, которые автоматически сбрасывают "газ", когда автомобиль слишком близко приближается к идущей впереди машине. Это первый этап на пути предотвращения столкновений — автоматическое торможение и объезд.

Не все, однако, согласны с внедрением IVHS-технологии. На бесконечных встречах в течение нескольких последних лет исследователи из правительственных, университетских и частных организаций пытались, но почти безуспешно, разработать планы последовательного внедрения систем IVHS. Мешают некоторые обстоятельства: не удается согласовать объемы финансирования инфраструктуры IVHS из федеральных источников и ввести необходимые стандарты. Эти вопросы, с озабоченностью отмечают сторонники IVHS, проще решать в странах Европы или в Японии, где правительства и промышленность совместно работают над единым планом.

Тем не менее технология IVHS уже применяется на американских дорогах. Тысячи дальнерейсовых грузовиков имеют радиосвязь с диспетчерскими пунктами. Системы навигации и выбора оптимального маршрута — следующий шаг. "Водители грузовиков могут оценить экономичность этих систем, а она немалая", — говорит Д. Уиллис, старший вице-президент Фонда американской ассоциации водителей грузовиков. Один из факто-

На пути к «умным» дорогам

Системы связи автомобиль/дорога, Токио

Данные о движении на дорогах передаются на дисплей приборной панели от 91 придорожного радиомаяка, охватывающих трассы общей протяженностью 350 км. Инициаторами проекта, начатого в 1987 г., стали министерство строительства и 25 японских компаний.

Усовершенствованная система информации и связи для автотрасс, Токио

Подобна предыдущей, но в отличие от нее в данной системе используются центральные передатчики для связи с автомобилями. Финансируется Национальным полицейским управлением Японии, министерством почтовой связи и информации и 59 компаниями. В плане предусмотрено расширение зоны действия системы до 74 городов.

Системы связи и информации, Западный Берлин

Работает с июня 1989 г. Включает 700 автомобилей, передающих и принимающих информацию от 240 радиомаяков. Расходы в размере 11 млн. долл. несут совместно правительство и компании Robert Bosch и Siemens. Информация поступает на дисплей, вмонтированные в приборную панель автомобиля, и посредством синтезированного голоса.

«Следопыт», Лос-Анджелес

Проект начат в июне 1990 г. В нем участвуют 25 специально оснащенных автомобилей, которые курсируют на отрезке протяженностью 12 миль на шоссе Санта-Моника. На карте дисплея указываются все заторы впереди. Текстом на дисплее и голосом компьютера предлагаются альтернативные пути.

«Автоводитель», Лондон

Намечен на 1991 г. Проект подобен берлинскому и будет использовать не менее 1000 машин. Расходы на испытания общей стоимостью 16 млн. долл. выделяются консорциумом, который возглавляется компанией General Electric, намеревающейся продавать новую аппаратуру.

«TravTek», Орландо

Испытания стоимостью 8 млн. долл. начнутся в 1992 г. с использованием 100 автомобилей, оснащенных терминалами и навигационными системами. Финансируют проект фирма GM, Ассоциация американских автомобилистов, Федеральное дорожное управление и агентства дорожного движения штатов.

ров, обеспечивающих экономичность — сокращение (не менее чем на 20%) холостых пробегов. Уиллис утверждает также, что в продаже уже имеются устройства, помогающие водителям избегать заторов.

Другие потенциальные покупатели систем навигации — владельцы такси, машин скорой помощи и пункты проката автомобилей. Компания Budget Rent a Car проявляет наибольшую заинтересованность в новшествах. В следующем году она планирует провести крупные испытания автомобилей, оснащенных системами навигации. Компанию интересуют системы, изготовленные японской фирмой Diesel Kiki, специализирующейся на производстве отдельных узлов для автомобилей, и фирмой Ford Motor, фактически владеющей компанией Beech Holdings, которая в свою очередь принадлежит Budget.

Хотя эти системы навигации будут показывать водителю кратчайший путь домой, они не помогут ему избежать транспортных пробок, пока не будут подсоединены к системе связи, работающей в масштабе реального времени. Для регистрации потока автомобилей инженеры-транспортники предлагают использовать датчики, встроенные в дороги. Информация в этом случае может собираться на

центральном компьютере, который затем будет передавать инструкции водителям по радио или посредством инфракрасных сигналов. Такой подход явился бы усовершенствованием существующих систем, которые используют электронные дорожные знаки, предупреждающие водителей о том, что ждет их впереди.

Менее дорогостоящий метод — использовать сами автомобили для сбора данных об уличном движении. Автомобили могли бы передавать сигналы на центральный компьютер, который затем рассчитывал бы время, необходимое для проезда по отдельным отрезкам дороги. Такой подход значительно уменьшил бы потребность в датчиках, и отпала бы необходимость в мощных компьютерах. "Мы не должны обречать себя на большие затраты на инфраструктуру до тех пор, пока не проведем достаточное количество испытаний", — заявил Р. Дой, руководитель исследований по внедрению IVHS-технологии в компании Motorola.

Никто не решился определить возможный размер рынка для систем IVHS, но он наверняка станет "золотым дном" для автомобилестроителей, поставщиков оборудования и служб автосервиса. Производители автомобилей в США смогут прода-

вать блоки, включающие навигационные и прочие системы, по цене не менее 1000 долл. Такую цену, судя по опросу, проведенному компанией General Motors среди жертв дорожных аварий, люди согласились бы заплатить, чтобы избежать несчастных случаев.

Среди американских автомобилестроителей GM пока что занимает лидирующее положение в области оснащения своих автомобилей системами IVHS, расходуя около 10 млн. долл. в год на исследования в этой области. Разработкой этой технологии в GM занято 65 ученых и инженеров. Компания приобрела лицензию на систему планирования маршрута у фирмы Etak и предоставила 25 машин для эксперимента "Pathfinder". Она также выступает главным спонсором в эксперименте "TravTek" стоимостью 8 млн. долл., о проведении которого в Орlando (шт. Флориды) было недавно объявлено.

Сторонники внедрения IVHS-технологии надеются на финансовую помощь конгресса, когда он начнет вплотную работать над новым законопроектом по улучшению движения на автомобильных дорогах, принятие которого планируется в следующем году. Сторонники IVHS-технологии объединились в свободный союз, который в будущем может трансформироваться в новую торговую группу; союз неожиданно получил поддержку в конгрессе.

Сенатор от штата Нью-Йорк Д. Мойнихен, сторонник введения высокоскоростных рельсовых систем на магнитной подушке, недавно внес на рассмотрение законопроект, который предусматривает выделение 10 млн. долл. федеральному дорожному управлению на разработку планов по внедрению систем IVHS и еще 10 млн. долл. на финансирование демонстрационного проекта. Администрация, в частности, в лице министра транспорта С. Скиннера, как будто твердо стоит на позиции IVHS.

У сторонников IVHS-технологии, однако, много противников в конгрессе. Например, компании, осуществляющие перевозку грузов, и дорожно-строительные фирмы. Сельскохозяйственные союзы также могут воспрепятствовать проведению программы, поскольку она принесет выгоду в основном урбанизированным районам. Кроме того, высказываются сомнения, действительно ли введение систем IVHS устранит возникновение автомобильных пробок и сделает ли она дороги безопаснее. Национальное управление по повышению безопасности дорожного движения обеспокоено тем, что водители

грузовиков могут оказаться сбитыми с толку потоком информации, поступающей от нового оборудования. К тому же по мере того, как водители будут все в большей степени передавать управление компьютерам, вопрос о виновности в дорожно-транспортных происшествиях будет все более неопределенным.

Краткий биографический очерк Хофмана, скромного скитальца в мире химии, поэзии и педагогики

ЛАУРЕАТ Нобелевской премии Роалд Хофман нежно проводит рукой по одной из своих молекулярных моделей, форму которой он называет «манящей и прекрасной». На мой взгляд, это всего лишь желтые треугольные рамки с зелеными сферами в углах. Его палец движется от сферы (атома) вдоль грани рамки (молекулярной связи). Затем я замечаю, что рамки образуют ряд четырехгранников, стоящих друг на друге. Коснувшись трех атомов сразу, Хофман проводит рукой вокруг модели, обрисовывая тройную спираль. Я начинаю понимать сложную структуру этой спирали, построенной из четырехгранников. Может быть, это уже искусство?

Конечно, химиков привлекает изящество работ Хофмана. В 1981 г. ему была присуждена Нобелевская премия, а в 1990 г. — медаль Пристли, высшая награда Американского химического общества. Теперь Хофман хотел бы, чтобы все ученые, специалисты в области как естественных, так и гуманитарных наук, осознали бы эстетическую сторону работы химика. Построенная из четырехгранников спираль прекрасна не только своей формой, но и новизной, динамикой, целесообразностью, богатством.

На 32-м году работы в области теоретической химии Хофман много времени уделяет популяризации представлений о красоте молекул. Будучи профессором Корнеллского университета, он преподает студентам первого курса основы химии. Будучи поэтом и писателем, он выявляет связи, объединяющие химию, литературу и искусство. Как ведущий телевизионной передачи он собирается представить телезрителям новую серию «Мир химии» — программу из 26 полчасовых передач, которая должна выйти в эфир в сентябре.

Остается только удивляться, как Хофман смог найти какую бы то ни было красоту в жизни, если учесть,

каким было ее начало. В июне 1941 г., за месяц до того, как ему исполнилось 4 года, немецкие войска оккупировали его родной польский город Злочув (теперь г. Золочев Львовской области, СССР). Нацисты выселили его вместе с отцом Иллелом Сафраном и матерью Кларой в еврейское гетто. Через несколько месяцев их депортировали в концентрационный лагерь Лаки.

В январе 1943 г. Сафрану удалось устроить побег жене и сыну из концлагеря. Их приютил украинский учитель, скрывавший их на чердаке школьного здания. В этой темной и тесной комнатке Клара начала учить сына географии и чтению. В июне, отец Роалда стал готовить побег из лагеря вместе с несколькими другими заключенными. Однако его план стал известен нацистам; они схватили и расстреляли его. Позднее Хофман писал в одном из своих стихотворений: «...Мне было пять лет / когда до нас, прятавшихся на украинском чердаке, дошла эта весть / и я плакал, потому что плакала моя мама. Тогда / мой отец стал героем... Война окончилась / и из 12 тысяч евреев, живших в нашем городке, в живых осталось 80 человек».

После освобождения города от немцев в июне 1944 г. Роалд и его мать переехали в Польшу, в Краков. Здесь Клара встретила Пауля Хофмана, жена которого погибла во время геноцида. Через год она вышла за него замуж. Хофман вспоминает, что его отчим был «добрым и мягким» человеком. Семья Хофманов через Чехословакию и Австрию переехала в Западную Германию и, наконец, в 1949 г. эмигрировала в США.

Хофман впервые познакомился с химией довольно рано, прочитав биографии Марии Кюри и Джорджа Вашингтона Карвера. В одном из последних интервью он сказал: «С детства у меня не было ни склонности, ни интереса к химии». Осенью 1955 г. Хофман поступил на медицинский факультет Колумбийского университета. «Моя мать хотела, чтобы я стал врачом; может быть, сейчас она простила меня за то, что я стал химиком», — сказал он с улыбкой.

В Колумбийском университете Хофман изучал буквально все — от математики и химии до французского, успевая освоить 6—7 предметов за каждый семестр. Ему особенно нравилась история искусств, и одно время он почти забыл лабораторию, проводя время в художественных галереях. Хофман закончил университетский курс всего за три года и получил диплом с отличием по специальности химия.

Но склонность Хофмана к химии проявилась главным образом во время летних семинаров, проводимых Национальным бюро стандартов США, когда он изучал химию цемента и углеводородов. Приобретенный здесь опыт способствовал тому, что Хофман решил поступить в аспирантуру Гарвардского университета. В своей докторской диссертации, выполненной под руководством лауреата Нобелевской премии Уильяма Н. Липскомба, он предсказал структуру полиэдрических углеводородов и боранов.

Получив звание доктора философии в области химической физики в 1962 г., Хофман принял приглашение работать в течение трех лет в Гарвардском университете. Этот период ознаменовался заключением двух самых важных в жизни Хофмана союзов: первого — с профессором Гарвардского университета Робертом Б. Вудвордом, изучавшим теорию органической химии, и второго — с Евой, ставшей его женой и матерью двух его детей, Иллела Яна и Ингрид Элены.

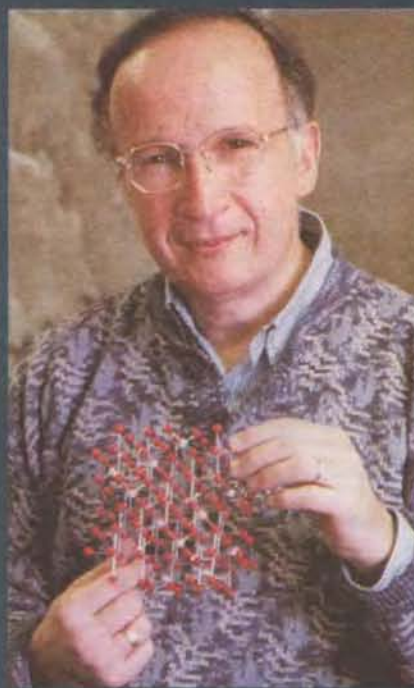
Вудворд и Хофман сформулировали правило, считающееся важнейшим достижением теоретической органической химии. Когда две молекулы соединяются друг с другом, они образуют ряд переходных состояний. Если энергия переходного состояния невысока, реакция идет легко; в противном случае реакция осуществляется с трудом. Правило Вудворда — Хофмана представляет собой методику расчета энергии этих переходных состояний на основе числа участвующих в реакции электронов и характера их движения.

За время совместной работы с Вудвордом у Хофмана выработался свой стиль исследований. «Я никогда не начинаю с постановки больших задач или грандиозных проблем, — говорил он. — Я решаю множество частных задач, рождающихся в ходе экспериментальной работы. Я пытаюсь объяснить форму молекул или направление реакции. В этом мире все взаимосвязано. Я уверен, что обязательно увижу эти взаимосвязи».

В таком стиле Хофман успешно работал в органической, неорганической химии и в области химии твердого тела. Каждой из этих областей он посвятил около 10 лет жизни, но он признает, что переключение с одной тематики на другую не было ни заранее обдуманным, ни неожиданным. «Я всегда делал то, что в данный момент казалось наиболее интересным».

Временами, особенно когда Хофман только входил в новую область, коллеги критиковали его работы за излишнюю упрощенность. Но вдох-

Это двояковогнутое кровяное тельце эритроцита, красное сердце крови, держит носитель кислорода, гемоглобин. Четыре скрученных



Роалд Хофман

полипептидных цепи, четыре субъединицы, попарно изменяются в человеческом зародыше, чтобы постоянно насыщать его плацентарным O_2 . Каждая цепь глобулярного

белка, стоящие бок о бок двойники спиральных сегментов, предопределенные узлы, последовательности аминокислот такие же, как у кашалота и лошади,

изгибы связей вокруг глосского диска, который окрашивает все... гем, активный центр, связывающий кислород центр, порфирина, железо. Поджигатель

кислород струится в полость, созданную белком, связывает железо, движет его к конечной цели, цепи плотно сковывают гем — дальняя

субъединица чувствует, как первая связь гема трепещет, цепи натягиваются, O_2 связывается легко. Кооперативно, ведь гемоглобин — аллостерический белок.

В 1937 году незадолго до войны Феликс Гейрович видел, как кристаллы дезоксигемоглобина распадаются при окиснении.

из "Jerry-Built Forever"
Gaps and Verges

новленному быстрыми успехами Хофману удавалось доказать свою правоту. В неорганической химии он разработал метод предсказания структуры и реакций металлоорганических соединений. В химии твердого тела он перевел физическую теорию плотности электронных состояний на химический язык молекулярных орбиталей. В результате Хофман оказался единственным за всю историю Американского химического общества ученым, удостоенным премий за работы в области как органической, так и неорганической химии.

Хофману было только 44 года, когда ему вместе с физиком Кеничи Фукуи из Университета Киото была присуждена Нобелевская премия. Основанием для присуждения премии частично послужило и участие в разработке правила Вудворда — Хофмана. Хофман уверен, что если бы Вудворд не умер за два года до принятия Нобелевским комитетом этого решения, то он также получил бы премию.

Стиль исследовательской работы Хофмана во многих отношениях сохраняется и в его преподавательской деятельности. Он считает важным даже в вводных курсах сообщать о проблемах, являющихся предметом интереса современных химиков. Он

любит начинать лекцию с обсуждения недавно опубликованной в химической литературе статьи. Затем он находит связи между материалом этой статьи и темой лекции. Начав педагогическую практику в 1965 г. в Корнеллском университете, он почти каждый год читает вводный курс химии, который весной этого года прослушало 740 студентов.

Хофман считает, что преподавание хорошо дополняет исследовательскую работу. В ноябрьском номере «Boston Globe» за прошлый год он писал: «Желание обучать других, множественное на обязанность делать это, повышает эффективность исследовательской работы».

Движимый желанием выразить красоту химии и свои чувства, Хофман в 40 лет начал писать стихи. Его вдохновителями были профессор поэтики Корнеллского университета Марк Ван Дорен и обладатель премии Пулитцера поэт Уоллас Стивенс. «Мне надо было бы прослушать курс поэтики, но я думал, что я уже слишком стар для этого». Сегодня источником «ценной критики и поддержки» для него является группа корнеллских поэтов, в том числе А.Р. Аммонз («Арчи»).

Недавно Хофман закончил работу

над вторым сборником стихотворений «Gaps and Verges», который был опубликован издательством Университета Центральной Флориды. Для своих стихотворений он находит темы в детских впечатлениях, романтике, красоте природы и, конечно, в химии. Об этой стороне его деятельности Питер Харрис писал в «Virginia Quarterly Review»: «Иногда описание Хофманом научного кажется прозаичным... Но в целом его поэзия отличается удивительной легкостью, с которой он переходит от научного понимания к общему».

С поэтической деятельностью Хофмана связаны его несколько статей о целях науки и многочисленные эссе для журнала «American Scientist». Недавно совместно с художницей Вивин Торренс он начал работу над книгой «Chemistry Imagined» («Химия в образах»). Торренс создает около 25 коллажей на химические темы, а Хофман пишет соответствующие эссе и стихотворения.

В 1986 г. Хофман начал вести телевизионную серию «Мир химии», выпускаемую центром образовательных фильмов (Аннандейл, шт. Вирджиния). Серия знакомит зрителей с законами и теоретическими положениями химии, рассматривая их в историческом аспекте и сопровождая показом экспериментов и компьютерной мультипликацией.

Перед телевизионной камерой Хофман кажется неловким; его голос, обычно мягкий и успокаивающий, становится очень высоким. Он объясняет: «Наши финансовые возможности не позволяют вести передачи из настоящей школы». Тем не менее он приступил к работе над новой телепередачей, получившей название «Молекулярный мир». Планируется, что эта передача будет включать три серии, которые будут демонстрироваться в самое удобное для зрителей время.

Переходя от поэзии к телевидению и от органической химии к химии твердого тела, Хофман, которому сейчас 53 года, стал знаменитостью среди химиков. Впрочем, как он сам заметил, несмотря на известность, ему «не стало легче публиковать ни статьи, ни стихи».

Не уменьем — так числом

СЕГОДНЯ, через десять лет после того как синдром приобретенного иммунного дефицита (СПИД) впервые привлек внимание общественности, все еще нет реальной перспективы излечения и ни один препарат из числа предложенных в качестве

ПРЕПАРАТЫ, ПРИГОДНЫЕ ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕРАПИИ

Азидотимидин Единственное средство против вируса СПИДа, получившее официальное одобрение. Вызывает анемию. Длительное применение ведет к развитию устойчивости возбудителя.

Дидезоксинозин Обладает активностью против вируса СПИДа, но эффективность как средства лечения СПИДа не доказана. Вызывает воспаление периферических нервов и поджелудочной железы.

Дидезоксицитидин Эффективность еще не доказана в клинических испытаниях. Из-за того что вызывает воспаление периферических нервов, масштабы испытаний ограничены.

α-интерферон Противовирусная активность продемонстрирована в клинических испытаниях небольшого масштаба. Задерживает развитие саркомы Капоши.

Растворимый CD4 Защищает клетки от заражения вирусом СПИДа in vitro. Есть обнадеживающие предварительные результаты клинических испытаний.

лекарства от СПИДа не обходится без существенных ограничений в применении. Специалисты возлагают все больше надежд на комбинированную терапию, т. е. лечение несколькими различными средствами одновременно или последовательно таким образом, чтобы свести к минимуму их недостатки и приумножить эффективность.

«Комбинированная терапия не так соблазнительна, как прицельный точный удар вроде волшебной пули, — говорит Р. Яркоан, который проводит испытания, включающие применение различных лекарственных препаратов, в Национальном институте рака. — Но мы надеемся, что сумма нескольких средств будет действовать сильнее, чем ее составляющие по отдельности». Он отмечает, что комбинированная терапия оказалась действенной в некоторых случаях другой особо «упорной» болезни — рака.

Общим компонентом всех вариантов комбинированной терапии при СПИДе является азидотимидин (называемый также зидовудином). Этот препарат — единственный на сегодняшний день средство, одобренное Управлением по контролю качества пищевых продуктов, медикаментов и косметических средств США — замедляет развитие симптомов заболевания и снижает смертность среди больных. Главный недостаток азидотимидина состоит в том, что он убивает клетки костного мозга; бывает, что из-за этого возникает столь тяжелая анемия, что требуется переливание крови. При уменьшении дозы побочные эффекты слабеют, но до сих пор нет ясности в том, какова должна быть минимальная доза.

Применение азидотимидина — и, в принципе, всех средств, атакующих

вирус СПИДа непосредственно, ограничивается еще одним фактором, который выявился лишь в последние годы. По данным Д. Ричмэна из Медицинской школы Калифорнийского университета в Сан-Франциско и других исследователей, вирус иммунодефицита человека (HIV), вызывающий СПИД, через 6 месяцев после начала лечения азидотимидином приобретает к нему устойчивость, причем эта устойчивость развивается тем быстрее, чем дальше зашла болезнь.

Эти факты стимулировали уже возвращенные усиленные поиски препаратов, заменяющих или дополняющих азидотимидин. На эту роль сейчас есть два кандидата, проявивших эффективность против HIV в опытах in vitro, — дидезоксинозин и дидезоксицитидин. Подобно азидотимидину, они блокируют воспроизведение вируса. Но и эти препараты оказывают негативное побочное действие, а именно вызывают болезненное воспаление периферических нервов; кроме того, дидезоксинозин может быть причиной смертельно опасного воспаления поджелудочной железы.

Для комбинированной терапии предполагается использовать также два препарата, получаемые биотехнологическим путем — растворимый CD4 (он представляет собой фрагмент клеточного рецептора, связывающего HIV, и, таким образом, препятствует проникновению вируса в клетки) и α-интерферон, эффективный как против самого HIV, так и против саркомы Капоши, сопутствующей СПИДу. Эти вещества действуют на других стадиях жизненного цикла вируса, отличных от «мишеней» азидотимидина и его аналогов, и поэтому, возможно, дополнят их: чем больше препятствий на пути вируса, тем выше вероятность того, что удастся его остановить.

Делаются попытки сочетать агенты, атакующие возбудитель СПИДа, со средствами против других инфекций, поражающих жертвы СПИДа и часто являющихся непосредственной причиной смерти. Обычно для этой цели используют ацикловир, эффективный против вирусов группы герпеса, и пентамидин, предупреждающий характерную для больных СПИДом пневмонию. Различные комбинации этих препаратов проверяются на культурах клеток и в небольших клинических испытаниях. В Массачусеттской больнице общего типа ведутся испытания in vitro азидотимидина в сочетании с CD4 и α-интерфероном. Клинические испытания курса лечения азидотимидином с α-интерфероном идут в Онкологическом центре им. Слоана и Кеттерин-

га. В Национальном институте рака сейчас 14 больных в течение недели получают азидотимидин и ацикловир, затем неделю — дидезоксиинозин и еще неделю — дидезоксицитидин, после чего цикл повторяется. По словам директора Национального института аллергических и инфекционных заболеваний Э. Фочи, предварительные результаты этих и других испытаний можно считать обнадеживающими. «Несомненно, будущее за комбинированной терапией», — говорит он.

Однако вплотную подойти к практическому применению таких методов лечения далеко не просто. Как отмечает Д. Катценштейн, ведущий испытания средств лечения СПИДа в Медицинской школе Станфордского университета, некоторые переменные факторы, необходимые для оценки того или иного метода, значительно разрастаются, если используется более одного лекарственного препарата. Например, в случае одного препарата обычно проверяются три дозы на трех группах больных. Соответственно, для комбинации двух лекарств нужно проверять по три дозы каждого и требуется уже девять групп больных. При разработке методов комбинированной терапии рака с этой трудностью в конце концов справились, но, как заметил Катценштейн, люди вовсе не хотят слышать, что на это уходит двадцать лет.

Директор американского фонда исследований по проблемам СПИДа М. Крим придерживается более оптимистической точки зрения. Она полагает, что процесс оценки методов лечения можно ускорить, если охватывать испытаниями больше людей. Этот подход уже реализуется во многих региональных центрах по проблемам, связанным со СПИДом.

Первый снимок космического телескопа

ОТКРЫТА новая страница в изучении космического пространства. 20 мая 1990 г. после месяца технических неудач и отказов различных систем сработал фотозатвор телескопа "Хаббл", и космический аппарат стоимостью 1,5 млрд долл. передал на Землю свой первый снимок. Им оказалась 30-секундная экспозиция ничем не примечательного скопления звезд в созвездии Киль.

Полученная фотография уже говорит о многом. Даже если большая часть трудных задач по наведению и фокусировке систем "Хаббл" еще впереди, первое изображение получено с разрешением примерно в $0,7''$, т. е. в 2 раза лучше, чем ожидалось, и значительно

лучше, чем разрешение в $1,1''$, полученное с помощью 2,5-метрового наземного телескопа в Чили. Звезда, которая выглядит с Земли как бесформенное пятнышко, на снимке, полученном с "Хаббла", может быть классифицирована как двойная.

Начиная с 25 апреля, когда телескоп был выведен на орбиту космическим шаттлом "Дискавери", испытания и настройка систем "Хаббла" проходят очень медленно. Проблемы стали возникать сразу. Вначале "отказалась" раскрыться одна из панелей солнечных батарей. Затем одной из двух антенн, предназначенных для связи с Центром управления космическим телескопом в

Гринбелте (шт. Мэриленд), был зажат кабель питания, и телескоп некоторое время находился в аварийном режиме. Операторы вышли из сложившейся ситуации, переписав программное обеспечение и ограничив диапазон перемещений обеих антенн. Хотя это может сократить время передачи и получения данных с Земли, специалисты из Гринбелта утверждают, что тщательное планирование работы телескопа поможет избежать значительных потерь времени наблюдения.

Процесс калибровки системы наведения был приостановлен также тем, что данные о звездах, необходимые для ориентации телескопа, оказались уста-



ПЕРВАЯ ФОТОГРАФИЯ, переданная на Землю космическим телескопом "Хаббл" (внизу), отображает более мелкие детали, чем снимок, полученный с помощью наземного телескопа (вверху).

ревшими. Они были составлены на основе информации из звездного каталога, изданного несколько десятилетий назад; за это время яркость одной из звезд существенно изменилась.

К концу мая была проведена лишь малая часть испытаний систем телескопа. Очередной проблемой оказалось то, что телескоп начинает медленно вращаться и вибрировать всякий раз, когда он входит или выходит из земной тени. Предполагалось, что начальные испытания, продолжавшиеся около 10 дней сверх плана, будут завершены в июне.

Основные испытания включают настройку 5 основных блоков телескопа в течение 4—5 месяцев. Астрономы надеются, что «Хаббл» позволит получать изображения с разрешением в 0,1", хотя это начнется не раньше чем в конце года. Р. Виллард из Института космического телескопа в Балтиморе (шт. Мэриленд) восклицает, имея в виду первые снимки: «Пока еще мы ничего нового не увидели!»

Диагноз на расстоянии

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОЕ подтверждение диагноза многих заболеваний часто дает патологоанатом. При патологоанатомическом исследовании с помощью сканирующих микроскопов анализируются образцы тканей в поисках клеток с аномальными цветом, формой или расположением. При этом, чтобы вынести решение, часто требуется независимое мнение еще одного специалиста. Подобное консультирование является, пожалуй, наиболее сложной частью процесса постановки диагноза. На передачу фак-

тического материала или образцов тканей другим экспертам может быть потеряно драгоценное время.

С внедрением новой техники такое положение может измениться: станет возможным анализировать образцы тканей, находясь на расстоянии в сотни миль от объекта, с помощью телесистем, которые включают автоматически управляемый микроскоп, написанное по заказу программное обеспечение и высокоразрешающие телевизионные камеры и мониторы. Первая такая система в США была установлена в марте этого года компанией Corabi International Telemetrics из Александрии (шт. Виргиния). Она соединяет патологоанатомические отделения больницы Университета Эмори и больницы Грэйди-Мемориал в Атланте (шт. Джорджия). Сеть подобных систем позволит специалистам в различных областях ставить исходный диагноз или высказывать свое мнение без пересылки образцов тканей или личных контактов.

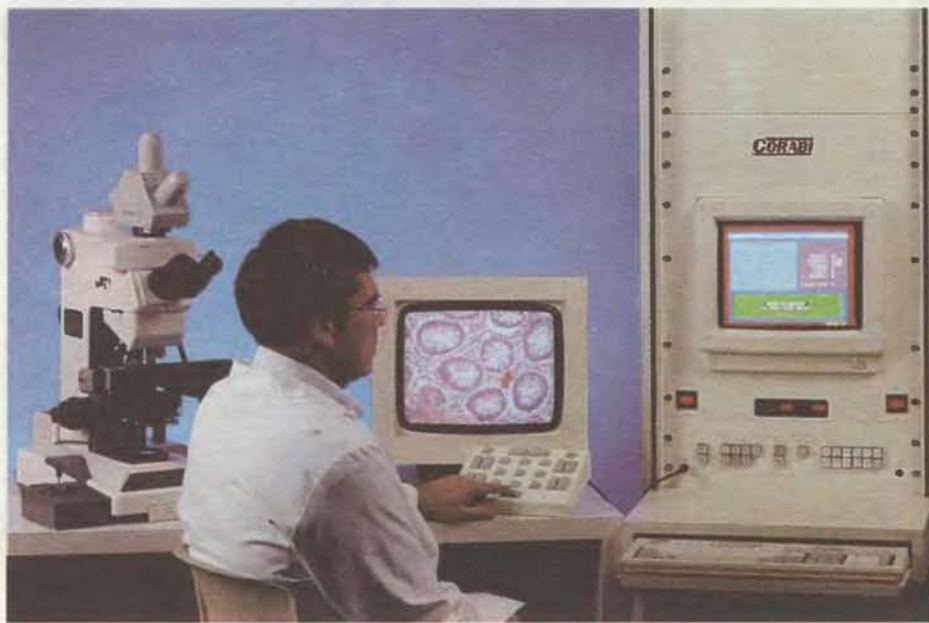
Когда патологоанатом кладет предметное стекло под микроскоп, изображение передается получателю автоматически. Последний может пользоваться специальным щитком управления для регулировки фокуса, положения и яркости увеличенного изображения на высокоразрешающем экране. Изображения передаются в широкой полосе радиочастот в масштабе реального времени, и получатель может манипулировать ими, как если бы он сидел непосредственно за передающим микроскопом. Изображения второй системы телепатологии, которая планируется для сети из 10 больниц в окрестностях Вашинг-

тона (округ Колумбия), будут передаваться по оптоволоконным кабелям.

Если телесистема для патологоанатомического исследования зарекомендует себя с хорошей стороны, жители отдаленных районов земного шара будут иметь возможность в любое время получить консультацию квалифицированных экспертов. Это главная надежда разработчика системы Р. Уинштейна. В 1985 г. он совместно со своей сестрой Б. Ньюбергер основал компанию Corabi, чтобы, как он выражается, «приносить пользу себе и другим». Эти люди — не единственные, кто задумался об использовании телекоммуникаций для целей здравоохранения, хотя они были первыми, поставившими концепцию «телемедицины» на коммерческую основу (не путать с радиологией!). Это было совсем не просто. «Мы знали, что нам было нужно. Трудность заключалась в том, чтобы найти производителя оборудования», — вспоминает Ньюбергер.

Компания Corabi вначале обратилась к 4 крупным, а затем к 6 средним американским фирмам, работающим в области видео- и телеаппаратуры. Уинштейн и Ньюбергер были весьма придирчивы в технологических требованиях: абсолютно точный цвет, высокое разрешение и возможность наблюдать за различными частями изображения при меняющемся увеличении и яркости. Реакция была более чем прохладной. «Все говорили нам, что если кто-то и согласится сделать такую аппаратуру, то мы получим ее лишь через 5, а может быть, даже через 8 лет», — говорит Ньюбергер.

В 1986 г. Уинштейн и Ньюбергер совершили визит в Японию. Но без официальных представлений в японских деловых кругах им не удалось вызвать к себе интерес. Затем COMSAT — американская компания спутниковой связи — выделила Corabi 1,5 млн. долл. и вскоре представила своего нового партнера фирме Sumitomo Electric, с которой она совместно ведет дела в Японии. Представители Corabi вернулись в Японию в 1987 г. с рекомендациями Sumitomo; 32 компании пожелали заполучить ее заказы. Оборудование было построено и испытано меньше чем за 2 года. Компания Nikon уже на первой встрече с Corabi согласилась сделать управляемый компьютером микроскоп. Телеаппаратура была изготовлена фирмой Ikegami Tushinki. В отличие от мониторов корпорации Sony, предназначенных для широкого потребителя, в мониторах фирмы Corabi не используется сжатие информации для получения неестественно четкого изображения. При патологоанатомии-



ТЕЛЕПАТОЛОГИЯ позволяет ставить диагноз на расстоянии посредством передачи изображения исследуемых тканей.

ческом анализе нужны изображения границ клеток.

После осуществления своего первого проекта Cogabi может вскоре оказаться под давлением таких гигантов, как Du Pont, General Electric и Kodak, которые уже продают дистанционные системы для рентгенологических и других обследований. Перед лицом таких конкурентов Cogabi может надеяться лишь на свой удачный старт. И пока что прогнозы благоприятные. Р. Паскаль, директор отделения патологии Университета Эмори, говорит: «Заказ на разработку системы должен делать профессиональный патологоанатом, иначе она не будет легкой в применении».

Шизофрения

НА СОСТОЯВШЕМСЯ недавно в Нью-Йорке симпозиуме, посвященном шизофрении, Э. Терри из Национального института психического здоровья резюмировал положение в этой области знаний следующим образом: «Лучше не бывало, но и хуже некуда». В настоящее время в распоряжении психиатров для лечения шизофрении, которой страдает каждый сотый человек в мире, есть действенные лекарственные средства, для изучения природы этого заболевания имеются мощные методы исследования. Тем не менее множество бездомных больных бродят по улицам городов и этот факт, как сказал Терри, неопровержимо свидетельствует о неудачных попытках лечить шизофрению.

Практически все специалисты признают, что наука ушла далеко вперед по сравнению с 1960-ми годами, когда шизофрения считалась чисто психическим состоянием. Исполнительный директор Национального союза по проблемам семей психически больных Л. Флинн отметил, что увлечение биологическими моделями заболевания по крайней мере способствовало развенчанию представлений, в рамках которых шизофрения является только следствием сочетания индивидуального предрасположения и специфической внутрисемейной среды. Однако, несмотря на прогресс, болезнь по-прежнему не поддается ни пониманию, ни лечению.

Часть проблемы состоит в том, что шизофрения очень многолика. Согласно руководству по диагностике Американской психиатрической ассоциации, этому заболеванию свойственны бред, галлюцинации (особенно «голоса») и, как более общий признак, фрагментированность восприятия, мышления и эмоциональных проявлений. Поведение больного

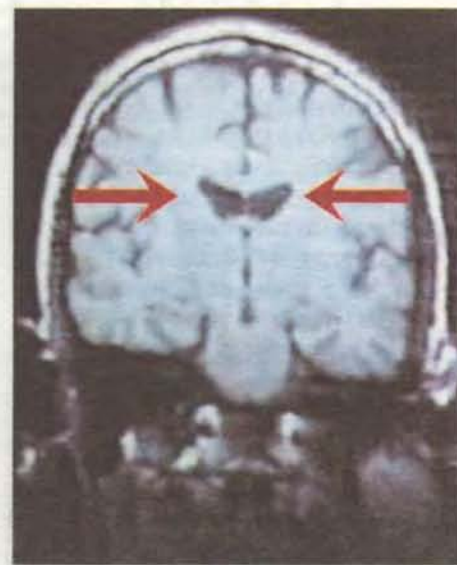
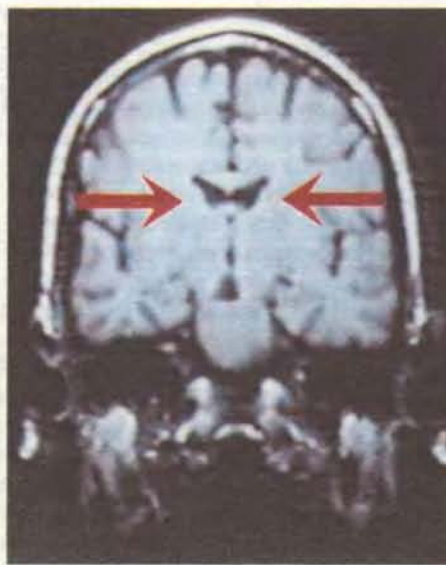
варьирует от явной неадекватности до кататонического ступора. Сходные симптомы могут быть при маниакальных и депрессивных состояниях, а также некоторых других психических расстройств.

Недавно Американская психиатрическая ассоциация предприняла попытку уточнить определение шизофрении, сделав диагностические критерии более строгими; в частности, симптомы заболевания должны появиться в возрасте до 45 лет и наблюдаться не менее 6 месяцев. И все же многие исследователи продолжают придерживаться мнения, что диагноз «шизофрения» охватывает не одно, а множество различных по своей природе заболеваний. Быть может, поэтому столь сильно варьирует реакция больных шизофренией на медикаментозную терапию. Открытие того, что так называемые нейролептические агенты помогают при шизофрении, часто расценивается как грандиозный успех медицины. Однако те нейролептики, которые блокируют рецепторы нейромедиатора дофамина, на самом деле не снимают симптомы заболевания полностью, а лишь подавляют их, да и то в весьма различной степени. Кроме того, нейролептические препараты вызывают у больного побочные эффекты — ощущение «оглушенности» и эмоционального отупения. Со временем они нередко приводят к неврологическому расстройству, называемому поздней дискинезией, проявляющейся в спастических судорогах мышц. Этими побочными эффектами, возможно,

объясняется, почему многие больные шизофренией (среди тех, кому эти лекарства были назначены, не менее 36% за год, по данным исследования, проведенного недавно Дж. Кэйном из Еврейского медицинского центра на Лонг-Айленде) прекращают принимать нейролептические препараты, невзирая на то, что из-за этого почти наверняка наступает рецидив. При снижении дозы побочные эффекты слабеют, но возрастает вероятность рецидива.

Сейчас ведутся поиски препаратов с меньшими побочными эффектами, а также средств для тяжело больных, которым не помогают стандартные нейролептические препараты (такие пациенты, согласно Кэйну, составляют примерно 30% больных шизофренией). Для этих больных представляется перспективным препарат, получивший название клозапин; однако он имеет существенные недостатки: вызывает судороги и очень опасную патологию крови — агранулоцитоз.

Успехи генетики породили надежду, что шизофрению можно будет лечить путем генотерапии. По мнению К. Кейдлера из Виргинского медицинского колледжа, имеются убедительные статистические данные, указывающие на наследственный (по меньшей мере, частично) характер шизофрении. Как показали многочисленные исследования, если в целом шизофренией заболевает 1% населения, то среди близких родственников больных (первой степени родства — братьев, сестер, родителей, детей) она встречается у 3—7%, включая



БОЛЬНОЙ ШИЗОФРЕНИЕЙ мужчина (справа) имеет более крупные желудочки мозга (указаны стрелками), чем его здоровый брат — монозиготный близнец. Однако размеры желудочков мозга у людей значительно варьируют и потому не могут служить диагностическим признаком. Изображения получены методом ядерного магнитного резонанса.

случаи, когда человек воспитывался в приемной семье, члены которой никогда не были больны.

В поисках гена, ответственного за шизофрению, произошел, казалось бы, существенный прорыв в конце 1988 г., когда группа исследователей под руководством Х. Герлинга из Лондонского университета заявила в журнале «Nature» о том, что при анализе расщепления шизофрении в семьях Исландии и Великобритании обнаружено сцепление между предполагаемым геном и генетическими маркерами хромосомы 5. Однако в том же номере журнала опубликовано сообщение сотрудников Йельского университета во главе с К. Киддом об аналогичном анализе в большой родословной из Швеции, не выявившем такого сцепления. Последующие попытки найти его тоже дали отрицательный результат.

Кидд считает, что надеяться идентифицировать гены, обуславливающие шизофрению, на сегодняшний день, мягко говоря, нереалистично. По его мнению, вполне вероятно, что

ряд генов, по отдельности обладающих очень слабым (или вовсе никаким) эффектом, в совокупности действуют таким образом, что создается предрасположение к заболеванию, которое начинает развиваться под влиянием факторов внешней среды. В этой ситуации вероятность выявить гены-«виновники», скорее всего, крайне мала.

Помимо поисков генетического маркера исследователи стараются выяснить, какие признаки могут, с одной стороны, служить для диагностики, а с другой — указывать на этиологию заболевания. Например, врачам давно известно, что у многих больных шизофренией понижена способность следить за перемещающимся объектом плавным движением глаз (т. е. глазные яблоки совершают «дрожащие» движения). По данным Ф. Хольцмана из Гарвардского университета, это нарушение, встречающееся лишь у 8% населения в целом, наблюдается у 65% больных шизофренией и у 45% их близких родственников. Однако этот интригующий факт не имеет практической диагностической ценности.

Еще одно направление исследований — выявление аномалий в мозге больных шизофренией. На том основании, что нейролептические агенты влияют на передачу нервных импульсов посредством дофамина и что избыточные дозы амфетаминов, которые стимулируют образование дофамина, вызывают явления, сходные с симптомами шизофрении, возникло предположение: при шизофрении в мозге имеет место избыток определенных рецепторов дофамина, (а именно, типа D_2). Но недавно Г. Седвалл из Королевского института в Стокгольме сообщил, что анализ методом позитронной эмиссионной томографии не дал доказательств этой гипотезы.

Результаты исследования мозга методом ядерного магнитного резонанса, проведенного в Национальном институте психического здоровья, подтверждают такой нейроанатомический признак шизофрении (о котором говорили и ранее), как расширение желудочков мозга. При сравнении ЯМР-изображений головного мозга у 15 пар монозиготных близнецов оказалось, что во всех случаях, за исключением одного, у заболевшего шизофренией человека желудочки несколько крупнее и соответственно серого вещества меньше, чем у его здорового близнеца.

Поскольку монозиготные близнецы генетически идентичны, увеличение желудочков мозга — а значит, и шизофрения — обусловлены некими факторами внешней среды. Торри,

участвовавший в этом исследовании, полагает, что таким фактором может быть физическая травма, токсичный или инфекционный агент. «Моя бредовая идея — что тут замешан вирус», — говорит он. Поскольку родители больных шизофренией часто утверждают, что ребенок был странным чуть ли не с рождения, Торри высказывает предположение: неизвестный фактор оказывает свое губительное действие на ранних стадиях развития человека, даже во внутриутробный период. Есть статистические данные, свидетельствующие о существовании фактора, действующего до рождения: у больных шизофренией в 2—3 раза чаще среднего отмечены осложнения во внутриутробный период развития или при рождении и среди них несколько выше доля родившихся зимой либо весной, когда особенно распространены вирусные инфекции.

Значимость упомянутого исследования мозга близнецов подвергается сомнению. Кидд считает, что, вообще говоря, неясно, являются ли аномалии, наблюдаемые в мозге больных, причиной либо следствием (возможно, результатом медикаментозного лечения или стресса) заболевания, а может быть, ни тем, ни другим. Другие специалисты обращают внимание на то, что выявленные аномалии слишком незначительны, чтобы их использовать для диагностики.

Конечно, все эти усилия были бы не нужны, если бы шизофрения просто исчезла. Недавно в журнале «Lancet» трое сотрудников Института психиатрии в Лондоне поставили вопрос: «Исчезает ли шизофрения?» и ответили на него вождельным «да». Они утверждают, что по статистике госпитализации в больницах Англии и Уэльса число диагнозов «шизофрения» с середины 1960-х годов сократилось на 50%. Но в США никаких признаков уменьшения заболеваемости шизофренией нет — таково мнение Р. Мандершейда из Национального института психического здоровья. Он полагает, что данные по Великобритании отражают не истинное падение заболеваемости, а сужение диагностических критериев и рост доверия к амбулаторному лечению; вероятно, сыграла свою роль также неистребимая тенденция принимать желаемое за действительное.

Когда-нибудь, как сказал Мандершейд, наука действительно искоренит шизофрению, но это произойдет через 50 или 100 лет разочарований и ложных порывов. Помимо всего прочего, мы знаем о человеческом мозге, пожалуй, меньше, чем о дальнем космосе.

*Внимание
читателей!*

Подписка на журнал

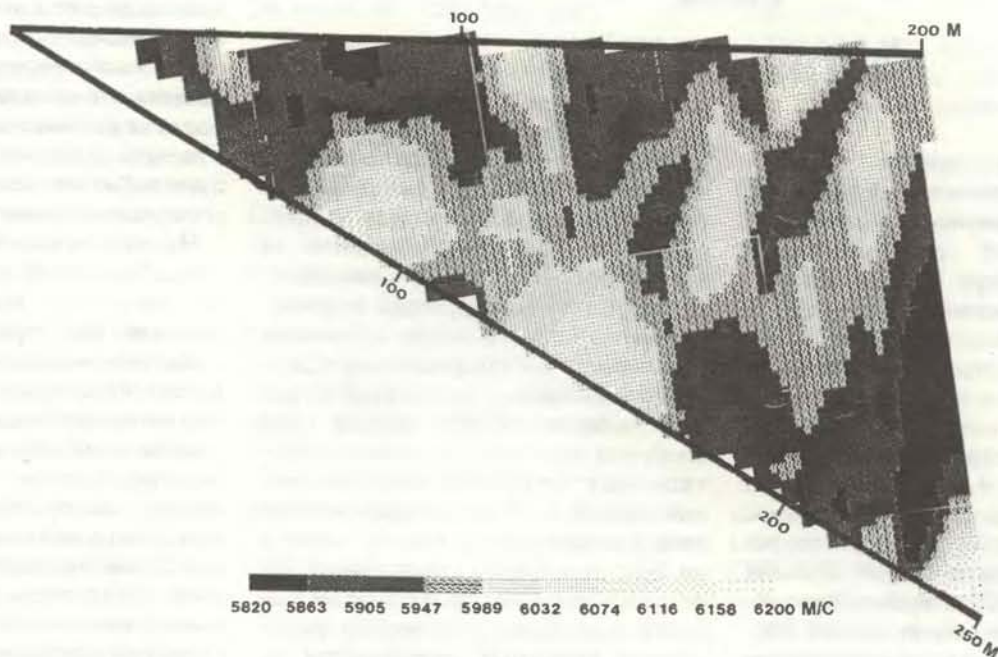
**В МИРЕ
НАУКИ**

принимается во всех
отделениях
«Союзпечать». Цена
одного номера 3 р.,
цена подписки на
квартал — 9 р., на год
— 36 р., индекс журнала
91310 по «Каталогу газет
и журналов зарубежных
стран», раздел
«Переводные научные и
научно-технические
журналы».



СЕЙСМИЧЕСКАЯ ТОМОГРАФИЯ с приложениями в глобальной сейсмологии и разведочной геофизике

Под редакцией Г. Нолета
Перевод с английского



Томографическая картина распределения скоростей сейсмических волн в пространстве между скважинами.

Книга представляет собой первую коллективную монографию по сейсмической томографии и написана ведущими американскими и западноевропейскими геофизиками. В ней изложены основы метода сейсмической томографии и его применений в разведочной геофизике и глобальной сейсмологии. Раскрываются возможности межскважинной томографии при выделении рудных тел, зон повышенной трещиноватости и участков горных пород, находящихся в напряженном состоянии. Описана и проиллюстрирована численными примерами методика профильного обращения сейсмических данных. Рассмотрены способы решения томографических задач методом наименьших квадратов, вопросы единственности получаемых решений и способы решения сверхбольших алгебраических систем. Описаны эффективные алгоритмы построения лучей в пространственно неоднородных средах, а также современная методика сбора данных от групп передвижных сейсмологических станций при помощи искусственных спутников Земли.

1990 г., 28 л. Цена 5 р. 90 к.

Эту книгу вы можете приобрести
в магазинах научно-технической литературы.



Инициатива «геном человека»: как его прочесть



НОРТОН Д. ЦИНДЕР

В СВОЕМ начале проект «геном человека» отмечен иронией судьбы. В 1984 г. действительный президент Калифорнийского университета в Санта-Крус Роберт Синсгеймер размышлял о больших телескопах и об их немалой стоимости, а также о том, как бы поднять престиж вверенного ему учреждения в области биологии. И его осенила идея определить нуклеотидную последовательность всех генов человека. В 1985 г., пригласив группу ученых на рабочее совещание, Синсгеймер поднял ряд вопросов, которые актуальны и теперь. Именно этот человек в 1977 г. вызвал бурю негодования среди молекулярных биологов, высказавшись за ограничение исследований в области генетической инженерии. Если бы в то время к его мнению прислушались, сегодня проект «геном человека» был бы невозможен.

Поначалу почти все ученые, присутствовавшие на совещании 1985 г., были настроены весьма скептически. Существовало два почти диаметрально противоположных мнения. Согласно одной точке зрения, это большое и дорогостоящее начинание не прибавит значительных знаний о человеке. Такая позиция основывалась отчасти на том факте, что около 90% генома человека, похоже, не несет никакой функции (другими словами, не кодирует белков). Эту часть генома порой называют генетическим хламом, что, конечно, вовсе не справедливо. В связи с тем высказывалось опасение, что столь крупная программа прикладных исследований обескровит фундаментальные направления в науке.

Другое мнение заключалось в том, что в результате осуществления проекта мы узнаем слишком много. Полная информация о геноме человека может во многих случаях дать повод для дискриминации по генетическим причинам, например при приеме на работу или страховании жизни. Она может даже стать новым импульсом для евгеники нацистского толка. Как

минимум, многократно возрастет число известных генов, но сохранится разрыв во времени между идентификацией гена, ответственного за конкретное заболевание, и разработкой на этой основе методов лечения.

Тем не менее в конце совещания практически все его участники если и не преисполнились энтузиазма по поводу проекта, то по меньшей мере одобрили его. Такой переход от скептицизма к энтузиазму вновь и вновь повторялся на последующих совещаниях и конференциях. Проект довольно быстро набирал сторонников. Во встречах по поводу проекта более или менее постоянно участвовали около десятка известных специалистов по молекулярной биологии, и каждый раз к ним присоединялось еще примерно столько же новых имен, так что круг совещаний все более расширялся.

Очередной раз «заинтересованные лица» собрались в Санта-Фе (шт. Нью-Мексико). Эта встреча была организована министерством энергетики США, которому не привыкать иметь дело с крупными дорогостоящими проектами, и, выбирая новое начинание для развития национальных лабораторий, оно остановилось на проекте «геном человека». Тому были и другие основания: долгое время под эгидой министерства энергетики велись генетические исследования последствий воздействия радиации. В дальнейшем конференции проводились в Колд-Спринг-Харборе и в Нью-Йорке; позже к работе подключилось Бюро развития технологии и Национальный совет по научным исследованиям.

Престиж программы резко подскочил весной 1988 г., когда Джеймс Д. Уотсон, прославившийся открытием структуры ДНК, согласился занять пост сопредседателя программы «геном человека», предложенный ему Национальными институтами здоровья (НИЗ). На организованной этим учреждением конференции в Рестоне (шт. Виргиния) главным пред-

метом обсуждения стали конкретные направления исследований. Вновь были выработаны рекомендации, а затем сформулированы цели проекта. Пять лет отводилось на картирование генома человека как генетическими, так и физическими методами. Было запланировано параллельно вести картирование геномов нескольких видов животных, для того чтобы получить более детальные сведения об эволюции и биологии развития человека. Участники конференции пришли также к мнению, что стоимость определения нуклеотидной последовательности не должна превышать 50 центов в расчете на один нуклеотид, чего следует добиться за счет пятикратного усовершенствования технологии.

На состоявшемся 3 января 1989 г. совещании консультативного комитета программы при НИЗ, который включает ряд талантливых биологов и возглавляется автором этих строк, проект был, наконец, утвержден. Затем распределены средства, организовались рабочие группы по отдельным хромосомам и, что, пожалуй, важнее всего, был укомплектован штат Бюро по геному человека, которое стало независимым подразделением НИЗ и сейчас ведает распределением финансов. Министерство энергетики осуществляет свою собственную программу, главным образом в национальных лабораториях.

Совместно с министерством энергетики организована рабочая группа по технологии информатики. В дальнейшем она может объединиться с подобными группами в Европе и Японии и образовать общий информационно-консультативный центр. В сотрудничестве с министерством энергетики выработана основательная программа по этическим и юридическим аспектам проекта. Она предусматривает как распределение средств на исследования, так и организацию и проведение по всей стране конференций для связи с общественностью и широкого обсуждения.

Прошлым летом в Колд-Спринг-Харборе представители НИЗ, министерства энергетики, а также специалисты из других учреждений, разработали программу на 5 лет. Мы направили доклад конгрессу; такие доклады будут представляться ежегодно. По нашим оценкам, на осуществление проекта потребуется 200 млн. долларов в год в течение приблизительно 15 лет начиная с 1991 финансового года.

Таким образом, в результате трех лет дискуссий и одного года организационной работы создана мощная программа, которая пользуется широкой популярностью и в то же время спо-

собна учитывать критику со стороны общественных и научных кругов. Почему же эта инициатива явилась злобой дня множества научных встреч и овладела воображением самых разных людей во всем мире, от политиков до обывателей?

Отвечая на подобные вопросы, обычно говорят об ожидаемом прогрессе в области медицины. Другие аргументы связаны с вероятными важными открытиями в биологии человека, в особенности в эволюции, биологии развития и нейробиологии. Похоже, не лишено смысла и то соображение, что, если возникнет возможность идентифицировать порядка 100 генов, определяющих различия между индивидуумами, нивелируется и стремление дискриминировать людей на основании особенностей нескольких генов.

Я думаю, однако, что ответ и проще, и одновременно сложнее. Составление карты генома и определение его нуклеотидной последовательности — это познание человеком самого себя, что безусловно представляет глубочайший интерес. Изучение генома — это особая форма анатомии, начало нового огромного этапа в биологии человека. Определив последовательность нуклеотидов в геноме, мы раз и навсегда получим в свое распоряжение генетический словарь человека.

Карта и нуклеотидная последовательность генома станут общечеловеческим достоянием. У всех людей есть мозг, сердце, ноги и нуклеотиды. Именно организация нуклеотидов делает каждого человека таким, каков он есть, и это не может не вызывать восхищения. И, несомненно, если ставится вопрос "идти ли дальше?", ответ однозначен: "вперед!"

Но по-прежнему остаются два противоположных опасения: узнать слишком мало и узнать слишком много. И это заставляет постоянно спрашивать: на правильном ли мы пути?

НАПОМИНАЕМ АДРЕСА МАГАЗИНОВ — ОПОРНЫХ ПУНКТОВ ИЗДАТЕЛЬСТВА «МИР»

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

125315 Москва, Ленинградский
просп., 78. Магазин № 19 «Мир»

121019 Москва, просп. Калинина,
26, п/я 42. Магазин № 200
«Московский Дом Книги».



БОЛЬШОЙ КЛИМАТИЧЕСКИЙ СПОР

THERMAL EQUILIBRIUM OF THE ATMOSPHERE WITH A GIVEN DISTRIBUTION OF RELATIVE HUMIDITY. Syukuro Manabe and Richard T. Wetherald in *Journal of Atmospheric Science*, Vol. 24, pages 241—259; May, 1967.

CHANGING CLIMATE: REPORT OF THE CARBON DIOXIDE ASSESSMENT COMMITTEE. National Research Council, Carbon Dioxide Assessment Committee. National Academy Press, 1983.

THE GREENHOUSE EFFECT, CLIMATIC CHANGE, AND ECOSYSTEMS. Edited by Bert Bolin and Bo R. Doos. John Wiley & Sons, Inc., 1986.

GLOBAL TRENDS OF MEASURED SURFACE AIR TEMPERATURE. James Hansen and Sergej Lebedeff in *Journal of Geophysical Research*, Vol. 92, D11, pages 13345—13372; November 20, 1987.

THE GREENHOUSE EFFECT: SCIENCE AND POLICY. Stephen H. Schneider in *Science*, Vol. 243, No. 4892, pages 771—781; February 10, 1989.

ГОМЕОЗИСНЫЕ ГЕНЫ И ПЛАН СТРОЕНИЯ ТЕЛА У ПОЗВОНОЧНЫХ ЖИВОТНЫХ

CLONING OF A X. LAEVIS GENE EXPRESSED DURING EARLY EMBRYOGENESIS CODING FOR A PEPTIDE REGION HOMOLOGOUS TO DROSOPHILA HOMEOTIC GENES. Andrés E. Carrasco et al. in *Cell*, Vol. 37, No. 2, pages 409—414; June, 1984.

A GRADIENT OF HOMEODOMAIN PROTEIN IN DEVELOPING FORELIMBS OF XENOPUS AND MOUSE EMBRYOS. Guillermo Oliver et al. in *Cell*, Vol. 55, No. 6, pages 1017—1024; December 23, 1988.

THE MURINE AND DROSOPHILA HOMEODOMAIN GENE COMPLEXES HAVE COMMON FEATURES OF ORGANIZATION AND EXPRESSION. Anthony Graham et al. in *Cell*, Vol. 57, No. 3, pages 367—378; May 5, 1989.

INTERFERENCE WITH FUNCTION OF A HOMEODOMAIN GENE IN XENOPUS EMBRYOS PRODUCES MALFORMATIONS OF THE ANTERIOR SPINAL CORD. Christopher V.E. Wright et al. in *Cell*, Vol. 59, No. 1, pages 81—93; October 6, 1989.

VARIATIONS OF CERVICAL VERTEBRAE AFTER EXPRESSION OF A HOX 1.1 TRANSGENE IN MICE. Michael Kessel et al. in *Cell*, Vol. 61, No. 2, pages 301—308; April 20, 1990.

БОЛЬШОЙ ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННЫЙ КОЛЛАЙДЕР

LEP, CERN'S LARGE ELECTRON POSITRON COLLIDER: THE EXPERIMENTAL PROGRAMME. R. Turlay in *Europhysics News*, Vol. 20, No. 6, pages 75—79; June, 1989.

THE LEP MACHINE DESIGN. G. Plass and E. Picasso in *Europhysics News*, Vol. 20, No. 6, pages 80—91; June, 1989.

ALEPH COLLABORATION: A PRECISE DETERMINATION OF THE NUMBER OF FAMILIES WITH LIGHT NEUTRINOS AND OF THE Z BOSON PARTIAL WIDTH. CERNEP/89—169, December 19, 1989. Submitted to *Physics Letters B*.

L3 COLLABORATION: MEASUREMENTS OF Z⁰ DECAYS TO HADRONS AND A PRECISE DETERMINATION OF THE NUMBER OF NEUTRINO SPECIES. L3 Preprint No. 004, December 24, 1989.

OPAL COLLABORATION: A COMBINED ANALYSIS OF THE HADRONIC AND LEPTONIC DECAYS OF THE Z⁰. CERNEP/90—27, February 23, 1990. Submitted to *Physics Letters B*.

DELPHI COLLABORATION: A PRECISE MEASUREMENT OF THE Z RESONANCE PARAMETERS THROUGH ITS HADRONIC DECAYS. CERN-EP/90—32, March 9, 1990. Submitted to *Physics Letters B*.

В ЧЕМ ПРИЧИНА ДИАБЕТА?

EPIDEMIOLOGIC APPROACH TO THE ETIOLOGY OF TYPE I DIABETES MELLITUS AND ITS COMPLICATIONS. Andrzej S. Krolewski et al. in *New England Journal of Medicine*, Vol. 317, No. 22, pages 1390—1398; November 26, 1987.

A HYPOTHETICAL MODEL OF THE FOREIGN ANTIGEN BINDING SITE OF CLASS II HISTOCOMPATIBILITY MOLECULES. Jerry H. Brown et al. in *Nature*, Vol. 332, No. 6167, pages 845—850; April 28, 1988.

HOW, WHEN, AND WHY TO PREDICT IDDM. Noel K. Maclaren in *Diabetes*, Vol. 37, pages 1591—1594; December, 1988.

IMMUNOLOGIC TOLERANCE: COLLABORATING BETWEEN ANTIGEN AND LYMPHOKINES. G.J.V. Nossal in *Science*, Vol. 245, No. 4914, pages 147—153; July 14, 1989.

GENETIC CONTROL OF AUTOIMMUNITY IN TYPE I DIABETES. John A. Todd in *Immunology Today*, Vol. 11, No. 4, pages 122—129; April, 1990.

Вниманию читателей!

АНТИТЕЛА

Методы

Кн. II

Под ред. Д. Кэтти

Перевод с английского

В книге английских авторов рассмотрены основные методы использования антител, а именно: иммуноферментный анализ, иммунопероксидазные и иммунофлуоресцентные методы, определение групп крови с помощью антител, типирование антигенов гистосовместимости HLA, флуоресцентная сортировка клеток, иммунодетекция опухолей. Книга относится к зарекомендовавшей себя серии, издаваемой IRL Press и является 2-м томом двухтомника (перевод т. 1 выйдет в свет в 1991 г.).

Для иммунологов, клинических биохимиков, цитологов, онкологов.

Из рецензии: «Следует отметить прежде всего высокий методический уровень книги. При этом руководство составлено таким образом, что им может с успехом воспользоваться даже тот, кто никогда не сталкивался с тем или иным методом. С одной стороны, изложены все необходимые детали вплоть до протоколов конкретных опытов, а с другой — те необходимые теоретические сведения, которые нужны для осознанного выбора метода исследования. Книга безусловно полезна всем научным и практическим работникам, использующим иммунологические методы». (проф. О. В. Рохлин).

1992 г. 23 л. Цена 3 р. 50 к.

Эту книгу вы сможете заказать в магазинах научно-технической книги после поступления аннотированного плана издательства на 1992 г.



ПИРОТЕХНИКА

PYROTECHNICS FROM THE VIEWPOINT OF SOLID STATE CHEMISTRY. Joseph H. McLain. The Franklin Institute Press, 1980.

THE CHEMISTRY OF PYROTECHNICS. John A. Conkling. Marcel Dekker, Inc., 1985.

FIREWORKS: THE ART, SCIENCE AND TECHNIQUE. Second Edition. Takeo Shimizu. Pyrotechnica Publications, 1988.

FIREWORKS: A HISTORY AND CELEBRATION. George Plimpton. Doubleday & Co., Inc., 1989.

ПАК КАШТАНОВ

DEATH OF THE AMERICAN CHESTNUT. George H. Hepting in *Journal of Forest History*, Vol. 18, No. 3, pages 60—67; July, 1974.

PROCEEDINGS OF THE AMERICAN CHESTNUT SYMPOSIUM. West Virginia University, Morgantown, W.Va., January 4—5, 1978. Edited by William L. MacDonald et al. West Virginia University Books, 1978.

CHESTNUT BLIGHT, OTHER ENDOTHRAL DISEASE, AND THE GENUS *ENDOTHIA*. Martha K. Roane, Gary J. Griffin and John R. Elkins. American Phytopathological Society Monograph Series. St. Paul, Minn., APS Press, 1986.

VIRUS-LIKE PARTICLES IN HYPHAE AND CONIDIA OF EUROPEAN HYPOVIRULENT (DSRNA-CONTAINING) STRAINS OF *CRYPHONECTRIA PARASITICA*. Joseph R. Newhouse, William L. MacDonald and Harvey C. Hoch in *Canadian Journal of Botany*, Vol. 68, No. 1, pages 90—101; January, 1990.

ТЕОРИЯ РАМСЕЯ

COMBINATORIAL RELATIONS AND CHROMATIC GRAPHS. A.M. Gleason and R.E. Greenwood in *Canadian Journal of Mathematics*, Vol. 7, No. 1, pages 1—7; 1955.

HOW THE PROOF OF BAUDET'S CONJECTURE WAS FOUND. B.L. van der Waerden in *Studies in Pure Mathematics*. Edited by L. Mirsky. Academic Press, Inc., 1971.

PAUL ERDŐS: THE ART OF COUNTING: SELECTED WRITINGS. Edited by Joel Spencer. The MIT Press, 1973.

THE MAN WHO LOVES ONLY NUMBERS. Paul Hoffman in *Atlantic Monthly*, Vol. 260, No. 5, pages 60—74; November, 1987.

NUMBERS IN RAMSEY THEORY, IN SURVEYS AND IN COMBINATORICS. R.L. Graham and V. Rödl. London Mathematical Society Lecture Notes

Series, No. 123, pages 111—153; 1987.

RAMSEY THEORY. Ronald L. Graham, Bruce L. Rothschild and Joel H. Spencer. Second Edition. John Wiley & Sons, Inc., 1990.

ЗАНИМАТЕЛЬНАЯ МАТЕМАТИКА

SERIAL ISOGONS OF 90 DEGREES. Lee Sallows, Martin Gardner, Richard Guy and Donald Knuth in *Mathematics Magazine*. Edited by G.L. Alexanderson (in press).

В МИРЕ НАУКИ

Подписано в печать 14.09.90.
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. 16,69.

Усл. кр.-отт. 54,25.

Изд. № 25/7729. Заказ 870.

Тираж 26200 экз. Цена 2 р.

Издательство «Мир»

Госкомпечати СССР

129820, ГСП, Москва, И-110,

1-й Рижский пер., 2.

Набрано в Межиздательском

фотонаборном центре

издательства «Мир»

Типография В/О «Внешторгиздат»

Госкомпечати СССР

127576, Москва, Илимская, 7



Книги издательства „Мир“

Р. Эрнст, Дж. Боденхаузен, А. Вокаун

ЯМР В ОДНОМ И ДВУХ ИЗМЕРЕНИЯХ

Перевод с английского



В

книге известных ученых из Швейцарии дается исчерпывающее изложение теории, экспериментальных методов и различных приложений импульсной ЯМР-спектроскопии. Основное внимание уделено двумерной ЯМР-спектроскопии. В ней детально обсуждаются теория импульсных экспериментов, расчетные методы, сравниваются и оцениваются достоинства и недостатки различных вариантов постановки опытов. Обсуждаемые положения иллюстрируются на многочисленных примерах, конкретных системах, задачах. Книгу можно охарактеризовать как энциклопедию современной импульсной ЯМР-спектроскопии. Чрезвычайно важно и то, что она написана учеными, которые внесли определенный вклад в развитие двумерной спектроскопии ЯМР.

Книга будет чрезвычайно полезна и интересна широкому кругу читателей: физикам, химикам, биофизикам, врачам и др. Эта книга вызовет интерес специалистов смежных областей, например, развивающих когерентную оптическую спектроскопию, интересующихся новыми физическими методами, их возможностями, информативностью.

1990 г. 42 л. Цена 5 р. 90 к.

Эту книгу вы сможете приобрести
в магазинах научно-технической
литературы



В следующем номере:



ИСКУССТВО МАЙЯ В КОПИЯХ

БАЛЛИСТИЧЕСКИЕ РАКЕТЫ В «ТРЕТЬЕМ МИРЕ»

НОВЫЕ СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ КЕРАМИКИ

ИНФЕКЦИИ, СВЯЗАННЫЕ СО СПИДОМ

ЯЗЫК ФРАКТАЛОВ

РАСПРОСТРАНЕНИЕ СЕМЯН МУРАВЬЯМИ

КОГДА ТЕМПЕРАТУРА ПЛАВЛЕНИЯ
НЕ РАВНА ТЕМПЕРАТУРЕ ЗАМЕРЗАНИЯ

ТЕНДЕНЦИЯ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ
