

В МИРЕ НАУКИ

scientific american

WWW.SCIAM.COM

№2 2003

КОЛЕСНИЦА ПЕРЕМЕН

- Эволюция цвета кожи
- Мысль управляет роботом
- Громоотводы для нанoeлектроники
- Абсолютная пустота



ежемесячный научно-информационный журнал

ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

Автомобильная промышленность никогда не славилась попытками снизить уровень загрязнения окружающей среды. С тех пор, как в 70-х годах правительство США потребовало от производителей автомобилей снизить уровень выбросов выхлопных газов в атмосферу, лоббисты начали яростные схватки на Капитолийском холме против ужесточения стандартов топливной экономичности. Тем временем автомобильные компании не хотели переводить небольшие пикапы, спортивные машины и внедорожники из категории «легких грузовиков со средним объемом двигателя» в категорию транспортных средств, потребляющих большое количество горючего. (То есть то, чем они являются.) До недавнего времени многие производители отрицали даже возможность того, что углекислый газ способствует глобальному потеплению. Теперь представители компаний делают отчаянные попытки заблокировать принятый недавно в Калифорнии закон об ограничении выбросов автомобильных выхлопных газов (в первую очередь углекислого) в атмосферу.

И как же тогда относиться к заявлениям машиностроителей, утверждающих, что они заинтересованы в сохранении окружающей среды? Они вкладывают большие деньги в разработку агрегатов из гибридных композиционных материалов, а также двигателей, работающих на чистом

дизельном топливе и электрических топливных элементах. Уже разработаны и готовы к внедрению перспективные технологии, позволяющие экономить горючее.

Однако самое важное направление – использование водорода в качестве топлива вместо нефтепродуктов, что решит экологические, экономические и геополитические проблемы. Администрация Буша, в частности, поддерживает государственный проект *FreedomCAR*, связанный с привлечением частного капитала к разработке водородных топливных элементов.

В действительности, машиностроители и некоторые крупные энергетические компании рассматривают использование водорода в качестве топлива будущего, которое будет экономически выгодным. Только при совпадении интересов промышленников и экологов возможны реальные перемены в лучшую сторону.

В статье «Колесница перемен», опубликованной в этом же номере, трое сотрудников *General Motors* обсуждают планы компании по созданию автомобилей, работающих на топливных элементах без применения двигателей внутреннего сгорания. С их точки зрения, газозаправочные станции будущего оправдают свое название, заправляя машины водородом. Для того чтобы сделать автомобиль экологически чистым и перевести всю экономику на общенациональную систему использования водородного топлива, потребуются миллиардные затраты.

Не раньше чем через десять лет можно будет серьезно говорить о внедрении машин на топливных элементах. Очевидно, что лоббисты будут продолжать бороться за свои интересы даже в ущерб окружающей среде. Специалисты отмечают, что реализация «водородной» программы позволит автомобильной промышленности повысить свой рейтинг без затрат на производство машин с повышенным запасом хода.

Уже сейчас необходимо формировать систему стимулов и рыночных механизмов для реализации экологических проектов. Кроме того, нам нужны гарантии того, что будет продолжаться работа по усовершенствованию и самого двигателя внутреннего сгорания. ■

Когда же появятся экологически чистые автомобили?



24 **НЕЙРОФИЗИОЛОГИЯ**
МЫСЛЬ УПРАВЛЯЕТ РОБОТОМ

Мигель Николемис и Джон Чэплин

Когда-нибудь люди смогут управлять инвалидными креслами и протезами, просто написто «продумывая» их движения

34 **АСТРОНОМИЯ**
АБСОЛЮТНАЯ ПУСТОТА

Эван Скэннапьеко, Патрик Птижан, Том Броуджерст

Во Вселенной существуют разные степени пустоты. Но даже огромные межгалактические пространства не абсолютно пусты

42 **ТЕХНОЛОГИИ**
КОЛЕСНИЦА ПЕРЕМЕН

Лоуренс Бернс, Байрон Маккормик, Кристофер Боррони-Берд

Автомобиль на водородном топливе – фантастический проект или недалекое будущее?

52 **БИОЛОГИЯ**
ЭВОЛЮЦИЯ ЦВЕТА КОЖИ

Нина Яблонски и Джордж Чаплин

Различный цвет кожи у людей в разных уголках планеты не случаен: он достаточно тмен, чтобы предотвратить разрушение солнечными лучами жизненно важного вещества фолата, но достаточно светел, чтобы обеспечить организм витамином D

60 **КОМПЬЮТЕРЫ**
**ГРОМООТВОДЫ
ДЛЯ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ**

Стивен Вольдман

Электростатические разряды ставят под угрозу дальнейшую миниатюризацию и ускорение электронных устройств

18 **ИННОВАЦИИ**

Как игра в теннис привела к созданию метода секвентирования полисахаридов

20 **СЕРЬЕЗНЫЕ ПРИТЯЗАНИЯ**

Идея вечного двигателя жива и прекрасно себя чувствует в Патентном бюро США

21 **СКЕПТИК**

Майкл Шермер

Научный мир сохранил присущие ему консерватизм и элитарность. Как и прежде, судьба любой научной теории во многом определяется репутацией автора

22 **ПРОФИЛЬ**

Энн Бергер

Паллиативная терапия традиционно используется для лечения безнадежно больных. Но она необходима и людям, страдающим хроническими заболеваниями



ОТ РЕДАКЦИИ

1 ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

4 50, 100 И 150 ЛЕТ ТОМУ НАЗАД

6 НОВОСТИ И КОММЕНТАРИИ

- Как реликтовое излучение может проверить теорию струн
- Сточные воды – прекрасное удобрение, но не опасно ли оно для здоровья?
- Невежество людей и резистентность вируса к лекарственным препаратам могут обострить кризис
- Рентгеновские исследования показывают, как отразить астероидную атаку
- На кубке «РоботКап – 2002» в футбол сразились андрюиды.
- Деформированные радиовыбросы могут свидетельствовать о слиянии черных дыр
- Учеными был выделен непарный ген, ответственный за синтез жирной кислоты в организме

68 КНИЖНОЕ ОБОЗРЕНИЕ:

Детская энциклопедия
ГЛОБАЛИСТИКА – энциклопедический словарь

70 ЗНАНИЕ – СИЛА

Плазменные телевизоры стали символом современного благополучия.

72 ТЕРМИНОЛОГИЯ

Симпьютер – портативное устройство для сельских жителей.

74 ПУТЕШЕСТВИЕ

Прогулки с лемурами

76 ГОЛОВОЛОМКА

Денис Шаша
Разведчики и пограничники

78 И В ШУТКУ И ВСЕРЬЕЗ

Стив Мирски
Угроза со стажем в 2000 лет. Неужели смех может быть корнем зла?

79 СПРОСИТЕ ЭКСПЕРТОВ

Как снизить содержание кофеина в кофе?
Почему паутина такая прочная?

Учредитель и издатель:

Негосударственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский новый университет»

Главный редактор: С. П. Капица

Заместитель главного редактора: В. Э. Катаева

Ответственный секретарь: О. И. Стрельцова

Редакторы отделов: А. Ю. Мостинская
В. Д. Ардаматская

Редактор: А. А. Приходько

Старший менеджер по рекламе: Т. И. Пролубникова

Старший менеджер по распространению: С. М. Николаев

Научные консультанты:

кандидат физико-математических наук В. Г. Сурдин
доктор биологических наук М. Н. Куханова
член-корреспондент РАН, зам. директора по научной работе Физико-технологического института РАН
А. А. Орликовский
Фирма CATERPILLAR

Над номером работали:

Е. Г. Бугакова, О. А. Василенко, Н. А. Вергелис,
А. В. Зернов, Т. Ю. Зимина, Г. Н. Кричевец,
В. Ю. Новоточий-Власов, А. А. Орликовский,
М. Я. Рутковская, И. Е. Сацевич, В. В. Свечников,
Н. Н. Шафрановская, Н. А. Шурыгина

Корректур: О. П. Стебакова

Препресс: P-Studio

Отпечатано в типографии: ГУИПП «Кострома»

Тираж: 15000 экземпляров

Адрес редакции:

105005 Москва, ул. Радио д.22, к 409

Телефон редакции:

(095) 105-03-72, тел/факс (095) 105-03-83

© В МИРЕ НАУКИ Рочноу, 2002

Журнал зарегистрирован в Комитете РФ по печати. Свидетельство ПИ № 77-13655 от 30.09.02
Перепечатка текстов и фотографий разрешена только с письменного согласия редакции.
При цитировании ссылка на журнал «В мире науки» обязательна.

Редакция не всегда разделяет точку зрения авторов. Рукописи не рецензируются и не возвращаются.

SCIENTIFIC AMERICAN

ESTABLISHED 1845

Editor in Chief: John Rennie

Editors:

Mark Alpert, Steven Ashley, Graham P. Collins,
Carol Ezzell, Steve Mirsky Georg Musser

Art director: Edward Bell

Publisher: Bruce Brandfon

Chairman emeritus: John J. Hanley

Chairman: Rolf Grisebach

President and chief executive officer:

Gretchen G. Teichgraeber

Vice President and managing director:

Charles McCullagh

Vice President: Frances Newburg

© 2002 by Scientific American, Inc.

Торговая марка **Scientific American**, ее текст и шрифтовое оформление являются исключительной собственностью Scientific American, Inc. и использованы здесь в соответствии с лицензионным договором

50, 100, 150 ЛЕТ НАЗАД

Смертность от дифтерии • Экспериментальный гоночный автомобиль • Из жизни алмазов

ОКТАБРЬ 1952

КАК УБИВАЕТ ДИФТЕРИЯ. Вещество, выделяемое дифтерийной палочкой, – один из самых сильнодействующих ядов. Достаточно одного миллиграмма, чтобы уничтожить 3,5 тонны морских свинок. Каков же механизм его действия? Результаты экспериментов потрясают. Куколка шелкопряда *Cecropia*, находящаяся в состоянии спячки и содержащая малое количество цитохром, после воздействия на нее 70 мг токсинов может просуществовать более четырех недель. Еще больше впечатляет действие яда на зрелого шелкопряда – физическое развитие насекомого прекращается за 1–2 часа. Исходя из этого, можно предположить, что токсин дифтерии убивает не потому, что внедряется в уже сформировавшуюся цитохрому, а потому, что препятствует синтезу новых сложных белков. ■

ОКТАБРЬ 1902

ГОНОЧНЫЙ АВТОМОБИЛЬ. Машина Трюффо сконструирована чрезвычайно просто. На официальных испытаниях на гоночной трассе в Довиле она развила скорость 80 км/ч и заняла первое место. Автомобиль, который мы представляем – экспериментальная модель. При ее создании изобретатель постарался минимизировать вибрацию и резкие толчки, характерные для легких и скоростных средств передвижения. Хочется надеяться, что после некоторых доработок производство этой машины встанет на поток. (Прим. ред.: Ж. М. М. Трюффо сконструировал один из первых амортизаторов.) ■

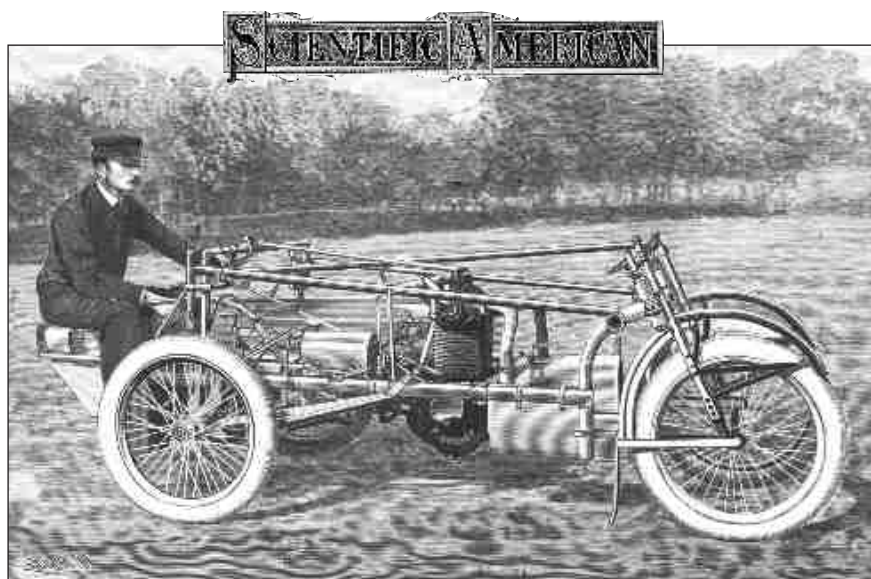
ОКТАБРЬ 1852

СЛАБЫЕ ЖЕЛУДКИ. В Канаде один солдат получил пулевое ранение в живот. Врач Вильям Бомон, прово-

дивший вскрытие желудка и исследовавший рану, обнаружил, что процесс пищеварения у животного и человека одинаков: протекает ли он в желудке или даже в реторте. Из этого следует, что можно легко получать любое количество желудочного сока, желателно от живых животных. Благодаря этому, больных, страдающих диспепсией, можно будет обеспечить необходимыми средствами для переваривания пищи. ■

НОВАЯ ОГРАНКА КОХИНОРА. Этот выдающийся бриллиант стал настоящей сенсацией на выставке в Кристальном дворце в Лондоне. Однако его неотшлифованные грани не смогли продемонстрировать восхищенным зрителям и половины своей красоты. Чтобы выяснить, можно ли заново огранить Кохинор, были проведены консультации с королевой Викторией, принцем Альбертом и видными учеными. Сегодня практически вся огранка бриллиантов производится опытнейшими гранильщиками в Голландии. Один из самых известных специалистов в этой области, человек иудейского вероисповедания, был вызван, чтобы выяснить, как безопаснее провести эту операцию для знаменитой «Горы Света». По последним сообщениям из Европы стало известно, что ювелирные работы завершены. Сегодня ни один бриллиант в мире по форме, блеску, игре света и красоте не может сравниться с Кохинором. ■

РУКОДЕЛИЕ. В Ольстере (Ирландия) и других западных районах страны искусство вышивки дает средства для существования четверти миллиона жителей. Практически все женщины работают на дому, под присмотром родителей и друзей. Рукодельницы могут зарабатывать на жизнь достойным трудом, не боясь запятнать свое честное имя. ■

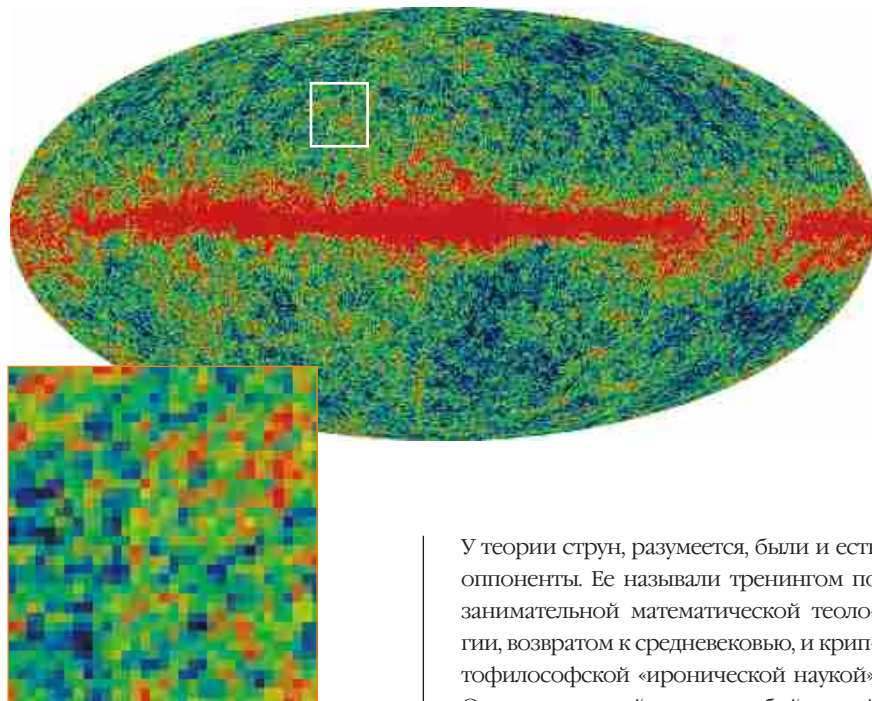


Гоночный автомобиль Трюффо:
экспериментальная модель 1902 года

КОСМИЧЕСКИЙ ПУАНТИЛИЗМ

Как реликтовое излучение может проверить теорию струн.

Джордж Массер



Это не типографский брак.

Если квантовые теории гравитации верны, то космический микроволновый фон (показана расчетная картина) может представлять собой мозаику пикселей.

У теории струн, разумеется, были и есть оппоненты. Ее называли тренингом по занимательной математической теологии, возвратом к средневековой, и криптофилософской «иронической наукой». Отношение к ней, как и к любой другой фундаментальной теории, противоречиво. В самом деле: «Как можно проверить теорию, которая имеет дело с объектом размером 10^{-35} м, учитывая, что энергии ускорителей элементарных частиц недостаточно для исследования чего бы то ни было меньше чем 10^{-19} м?»

В последние годы стало труднее оправдывать этот цинизм. Теория струн и дополнительные усилия, направленные на создание квантовой теории гравитации, привели к определенному успеху. Более того, недавно экспериментаторы придумали, как проверить эти теории с помощью микроволнового фонового излучения. «Хотя это и смелая попытка, сам факт, что можно произнести в одном предложении слова «теория струн» и «наблюдения», воодушевляет», – говорит ведущий специалист по теории струн Брайан

Грин (Brian Greene) из Колумбийского университета.

Как и другие космологические измерения, новые тесты используют слабую неоднородность микроволнового фона. Предполагается, что эта неоднородность возникла в фазе инфляции, то есть быстрого расширения Вселенной в первые мгновения ее существования. Энергетическое поле, ответственное за раздувание, флуктуировало как все квантовые поля. При обычных условиях такие флуктуации очень быстро сглаживаются и поэтому незаметны, но расширение Вселенной нарушает такой порядок вещей, растягивая их, ослабляя и в конце концов «замораживая», как волны на поверхности замерзшего пруда.

Теория струн и связанные с ней парадигмы позволяют предположить, что отрезок нельзя поделить на части, меньшие чем 10^{-35} м. Подобно тому как акварельный рисунок создается несколькими движениями кисти, пространство не может содержать бесконечное число деталей. Если удастся выделить объект и сильно его увеличить, то его границы будут выглядеть размытыми. К этому приводит и расширение Вселенной. Если в фазе инфляции размеры Вселенной увеличатся в 10^{26} раз и еще в соответствующее число раз после этой фазы, то флуктуация 10^{-35} м достигнет к настоящему времени размера в десяток световых лет.

Грин и его коллеги Ричард Истер (Richard Easther) и Уильям Кинни (William H. Kinney), а также Гэри Шу (Gary Shiu) из Пенсильванского университета изучили условия, при которых этот эффект можно наблюдать. Флуктуации размером 10^{-32} м могут быть сгла-

жены. Инфляция в своем апогее «заморозит» эти флуктуации, когда они достигнут 10^{-30} м. При росте в 100 раз размытость становится во столько же раз менее заметной, поэтому распределение флуктуаций будет отклоняться на 1% от стандартных предсказаний. Зонд микроволновой анизотропии или спутник «Планк» смогут это зафиксировать.

Две другие группы: Ахим Кемпф (Achim Kempf) из Университета Ватерлоо и Дженс Нимейер (Jens C. Niemeyer) из Института астрофизики им. Макса Планка в Гархинге и Неманья Калопер (Nemanja Kaloper), Мэтью Клебан (Matthew Kleban), Албион Лоуренс (Albion Lawrence) и Стефен Шенкер (Stephen Shenker) из Стэнфордского университета – утверждают, что эффект почти наверняка значительно меньше. Но все согласны с тем, что не знаешь, пока не посмотришь. «Нельзя упускать такую возможность», – говорит Калопер.

Другая концепция, предложенная космологом Крейгом Хоганом (Craig J. Hogan) из Вашингтонского университета, базируется на одном из самых глубоких понятий теории квантовой гравитации – голографическом принципе, ограничивающем количество информации, которое может содержаться в некоторой области пространства-времени. Оно зависит не от ее

объема, но, как это ни удивительно, от площади ее границы. Каждый «квант» площади (со стороной 10^{-35} м) может содержать один бит информации.

Этот принцип применим к Вселенной в целом. В фазе инфляции застывшие флуктуации определяли эффективную границу пространства. На расстоянии 10^{-30} м площадь границы была равна 10^{10} квантов, что эквивалентно гигабайту данных. В этом гигабайте были закодированы все наблюдаемые ныне флуктуации. Если пристально рассматривать микроволновый фон, можно заметить пиксели или дискретные цвета, как если бы небо было одним огромным экраном компьютера. Хотя это всего лишь догадки, сильнее всего выделяющиеся пиксели (кодирующие самые крупные флуктуации) меньше всего зависят от неопределенных параметров. Хоган оценил, что они могут содержать порядка 10 килобайт – не больше самого маленького компьютерного изображения.

Даже исследователи, сомневающиеся в деталях, согласны с основным пунктом: квантовая гравитация больше не сводится к каракулям, написанным мелом на доске. Фундаментальная природа пространства-времени может быть записана на небе и все начальное состояние Вселенной может уместиться на одном диске CD-ROM. ■

ДРУГИЕ ТЕСТЫ

квантовой гравитации

- **Космические частицы.** Астрономы обнаружили в космических лучах частицы и гамма-лучи с энергиями выше достижимых в ускорителях. Кроме того, эти частицы преодолевают огромные расстояния, позволяя накапливаться эффектам квантовой гравитации.
- **Другие удивительные частицы.** Нейтральные каоны так чувствительны к «оттенкам» квантовых эффектов, что малейшее отклонение от квантовой гравитации может стать наблюдаемым.
- **Детекторы гравитационных волн.** Следующее поколение аппаратуры будет измерять расстояния с такой точностью, что они будут чувствительны к дискретной природе пространства.
- **Темная материя.** Скрытая масса во Вселенной почти наверняка – признак некой экзотической физики либо частиц, согласующихся с теорией струн, либо поправок к существующим законам гравитации.

ИЗ КАНАЛИЗАЦИИ – НА ПОЛЯ

Сточные воды – прекрасное удобрение, но не опасно ли оно для здоровья?

Ребекка Реннер

Десять лет назад из-за опасности загрязнения морских экосистем США прекратили захоронение осадка сточных вод в океане. Теперь ими удобряют поля. С самого начала идея казалась спорной. Ее сторон-

ники оживленно обсуждали успех утилизации, оппоненты ссылались на жалобы жителей близлежащих территорий на здоровье. Профессор Томас Бьюк (Thomas A. Buek), специалист в области здравоохра-

нения из Университета Джонса Гопкинса, отметил: «Проводя масштабные работы, мы не задумываемся об их последствиях».

Очищенный осадок (биологические отходы) – хорошее удобрение ▶

**ОСАДОК СТОЧНЫХ ВОД:
КАКОЕ БОГАТСТВО!**

Есть веские причины для превращения осадков в удобрения: это позволяет сберечь деньги фермеров и компаний, занимающихся водоснабжением, и сэкономить место на свалках. «Использование осадка в качестве удобрения стало одной из самых эффективных программ утилизации, когда-либо проведенных в стране», – утверждает Грег Кестер (Greg Kester), который руководит программой по твердым биологическим отходам в Висконсине.



Известкованный осадок сточных вод на ферме в округе Де-Сото, Флорида, распространяет вокруг облака пыли, вредные для здоровья живущих поблизости людей.

**БОЛЕЗНЬ ВИТАЕТ
В ВОЗДУХЕ?**

Доктор Дэвид Левис (David L. Levis), микробиолог из EPA, – наиболее активный критик использования осадков. Он считает, что здоровье людей, живущих вблизи поля, удобряемого твердыми биологическими отходами, подвергается двойной опасности. Аммиак и другие химические вещества, применяемые при обработке осадка, воздействуют на органы дыхания, делают организм человека более чувствительным к воздействию патогенов, переносимых по воздуху. По его мнению, ситуация напоминает сезон сенной лихорадки, но серьезнее: осадок класса Б несет в себе бактерии и вирусы, вызывающие болезни.

с высокой концентрацией органики и питательных веществ, необходимых для растений. Однако осадок содержит небольшие количества металлов, органических загрязнений и болезнетворных бактерий. Поэтому Агентство по охране окружающей среды США ограничило его применение в соответствии с разделом 503 Закона о чистой воде от 1993 г. Закон разделяет очищенные осадки на два класса. Осадки класса А не содержат патогенов в критических количествах и их применение не ограничено. Осадки класса Б (основная часть удобрений) необходимо подвергать очистке для снижения содержания патогенов до определенного уровня. По требованию Агентства по охране окружающей среды (EPA) необходимо значительно сократить доступ в места скопления осадков класса Б.

Бьюк возглавляет комитет в Национальном исследовательском совете (НИС), результаты работы которого противоречивы. С одной стороны, очевидна необходимость введения правил по защите здоровья. С другой стороны, ни одна правительственная организация не ознакомилась с жалобами населения на самочувствие. Не проводилась даже оценка риска для обоснования стандартов на патогены. Вместо этого EPA выработала стандарты на основе наблюдений на закрытых для населения сельскохозяйственных полях, где применялись осадки, обработанные анаэробным сбраживанием. (Осадки класса Б расщепляются как в аэробных, так и в анаэробных процессах.)

Чарльз Хаас (Charles N. Haas), микробиолог из Университета Дрейселя считает, что «необходимо проделать множество разнообразных исследований, чтобы правила, регулирующие использование твердых биологических отходов, привести в соответствие с научными стандартами других нормативных документов EPA».

Институт Корнелия по контролю отходов, расположенный в Итаке, штат Нью-Йорк, составил базу дан-

ных, включающую более 39 происшествий в 15 штатах, последствия которых ощутили на себе 328 человек. По словам директора института Эллен Харрисон (Ellen Z. Harrison), больные люди, проживающие поблизости от мест применения осадков, жалуются на одни и те же симптомы заболеваний органов дыхания, желудочно-кишечного тракта и кожи, а также на головные боли.

Рабочие предприятий по переработке сточных вод первое время страдают от желудочно-кишечных заболеваний. Позже у них, видимо, вырабатывается иммунитет.

Согласно отчету НИС, научные проблемы еще больше усложняются тем, что EPA не обеспечивает исполнение закона об осадках. «Применение осадков сточных вод в сельском хозяйстве относительно безопасно по сравнению с другими видами деятельности, которые нам приходится контролировать. Для нас эта проблема не приоритетна», – говорит Алан Хэйс (Alan Hais) из водного департамента EPA. В ответ на отчет НИС, департамент готовится опубликовать план исследований. «Будут проведены исследования, – говорит Хэйс. – Если окажется, что риск выше ожидаемого, мы изменим требования к исполнению правил». ■

ОБ АВТОРЕ:

Ребекка Реннер (Rebecca Renner) из г. Уильямспорт, штат Пенсильвания, пишет о проблемах охраны окружающей среды.

НОВАЯ ВОЛНА СПИДа

Невежество людей и резистентность вируса к лекарственным препаратам могут усугубить кризис.

Луис Мигель Ариза

Путь к миру без СПИДа не гладок. Участники 14-й Международной конференции по СПИДу, состоявшейся в Барселоне в июле 2002 г., считают, что ожидается глобальная волна заболеваний.

Центры по контролю и предотвращению заболеваний в США представили свидетельства быстрого распространения вируса иммунодефицита человека (ВИЧ), вызывающего СПИД среди мужчин-гомосексуалистов. На их долю приходится 9 из 10 инфицированных мужчин. 3/4 молодых мужчин-гомосексуалистов не знают, что они инфицированы; в целом около 230 тыс. американцев, независимо от их сексуальной ориентации, не подозревают о том, что они являются ВИЧ-носителями. (Общее количество ВИЧ-инфицированных в США – около 900 тыс. человек).

Многие признались, что практиковали незащищенный секс. Это настораживает. Известно, что риск заражения может быть связан с насилием, употреблением наркотиков или депрессией. На самом деле есть более простое объяснение – люди не боятся СПИДа. «В развитых странах многие считают, что СПИД уже нельзя считать стопроцентно смертельным», – говорит Джонатан Каган (Jonathan Kagan), заместитель директора отделения СПИД Национального института аллергических и инфекционных болезней (NIAID). Сейчас разрешено к применению 19 препаратов против ВИЧ, при этом некоторые комбинации этих средств снижают содержание вируса в крови до аналитически неопредели-

мого уровня, возможно, создавая иллюзию того, что СПИД излечим. «Успех притупил чувство опасности», – говорит Каган.

В действительности болезнь неизлечима, так как невозможно уничтожить все источники ВИЧ в организме, поясняет Роберт Сицилиано (Robert F. Siciliano) из Медицинской школы при Университете Джонса Гопкинса. Клетки-помощницы, так называемые хелперные иммунные или CD4-клетки, обычно под действием вируса погибают, однако некоторые из них после инфицирования находятся в состоянии покоя. Это клетки памяти, рассчитанные на долгую жизнь, поэтому вирус может сохраняться в них десятки лет. Данные, представленные директором NIAID Энтони Фаучи (Antony S. Fauci), подтверждают, что вирус воспроизводится в этих клетках даже у пациентов, в крови которых ВИЧ не был обнаружен.

В Барселоне специалисты выразили озабоченность в связи с появлением штаммов вирусов, резистентных к применяемым лекарствам. ВИЧ очень быстро размножается, производя от 10 до 100млн вариантов вируса за день. Если лекарственные препараты не способны поддерживать концентрацию вируса на уровне ниже 50 частиц на кубический миллиметр, появление вирусной резистентности становится неизбежным. Анализ крови, проведенный у 1 908 ВИЧ-инфицированных, показал, что уже после двух лет



ПОМИНАЛЬНАЯ ЦЕРЕМОНИЯ

в память о жертвах болезни стала частью процедуры открытия 14-й Международной конференции по СПИДу в Барселоне.

АФРИКА – ЗЕМЛЯ СИРОТ

Питер Пайот (Peter Piot), исполнительный директор UNAIDS, Специальной программы ООН по борьбе с ВИЧ/СПИД, назвал это сообщение «самым шокирующим на конференции»: в течение следующих восьми лет около 25 млн детей потеряют одного или обоих родителей в результате эпидемии СПИДа. По данным USAID, UNICEF и UNAIDS к 2010 г. количество сирот моложе 15 лет в 12 странах, расположенных к югу от Сахары, составит от 15 до 25% населения. Главная причина – СПИД. Пайот призвал помочь этим детям: «Я видел, как им приходилось брать на себя роль старших и работать по 14 часов в день. Они стали свидетелями исчезновения целого поколения взрослых».

лечения в 78% случаях у вируса появляется резистентность по отношению к одному лекарственному препарату, а в более чем половине случаев – к их комбинациям. Около 100 тыс. человек в США могут быть инфицированы резистентными штаммами вируса.

Резистентность по отношению к лекарствам создаст серьезные проблемы для Африки. Бернард Швартлэндер (Bernard Schwartlander), директор Программы ВИЧ/СПИД Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), объявил, что до 2005 г. лечение лекарственными препаратами смогут пройти 3 млн человек, при этом только 2% (50 тыс. человек) африканцев, носителей или больных СПИДом получают необходимое лечение. Однако резистентные штаммы уже появились. В Кот-д'Ивуар они были обнаружены в крови 57 пациентов из 68. Исследование, проведенное в Уганде, установило, что через 2 месяца после лечения около 19% беременных женщин оказались резистентными к препарату невирапин, утвержденному в 1996 г. и предназначенному для предотвращения

передачи вируса от матери плоду. «Однако польза от этих лекарственных препаратов значительно превышает опасность возникновения резистентности, – считает Линн Моррис (Lynn Morris) из Национального института вирусологии в Йоханнесбурге. – Резистентность не может служить оправданием для отказа от лечения».

Перед тем как начинать терапию, ВОЗ планирует создать сеть региональных лабораторий для выявления резистентных штаммов, циркулирующих в Африке. «Необходим постоянный поиск новых лекарственных препаратов, которые не вызывают развитие резистентности», – отмечает Фаучи.

Фармацевтический гигант *Rosbe* описал результаты клинических испытаний одного из новых перспективных препаратов – ингибитора Т-20. Т-20 представляет собой синтетический пептид, блокирующий белок gp41, который вирус использует для связывания с клеточной мембраной. Двухразовые инъекции препарата в течение суток дали хорошие результаты с незначительными побочными эффектами.

Однако препарат еще не утвержден. Кроме того, цена для пациента очень высока (примерно \$11 тыс. в год).

Эпидемия СПИДа грозит двум крупным регионам. Согласно данным Фонда Восток-Запад по СПИДу, международной неправительственной организации, занимающейся проблемами здравоохранения, к концу десятилетия в Китае может появиться 10млн новых носителей ВИЧ, в частности из-за того, что 54% населения не знает, как распространяется болезнь. Количество носителей ВИЧ в России возросло почти в 200 раз (с 1 047 до 197 497 инфицированных за период с 1995 по 2002 гг.). Главная причина – беспорядочное использование шприцев наркоманами. «Эти регионы подобны бомбе с часовым механизмом, – предостерегает Каган. – Неудача в борьбе с эпидемией в этих странах приведет к появлению миллионов носителей болезни и к новым смертям». ■

ОБ АВТОРЕ:

Луис Мигель Ариза (Luis Miguel Arisa) живет в Мадриде.

РОССИЯ В БОРЬБЕ СО СПИДОМ

Нарастающая эпидемия СПИДа в России заставляет взглянуть на проблему серьезнее.

Сейчас препараты анти-ВИЧ в стране закупаются в основном за рубежом. Но российские ученые, подобно исследователям во всем мире, не жалеют сил, чтобы остановить распространение ВИЧ, и надеются победить.

Фосфазид (Никавир®) – российский препарат, одобренный Министерством здравоохранения России для широкого клинического применения в 1999 г. Он был создан в Институте молекуляр-

ной биологии РАН под руководством академика А. А. Краевского. По химической структуре, механизму действия и противовирусной активности Никавир близок к широко применяемому для терапии ВИЧ-инфекции Ретровиру (тимазид). Однако Никавир имеет ряд преимуществ перед Ретровиром, среди которых низкая токсичность, медленное образование резистентных форм вируса, а также более длительное время

жизни в крови, что дает возможность применять его реже, чем Ретровир. Никавир хорошо переносится и взрослыми, и детьми.

Изготовлением российского препарата занимается производственно-коммерческая «Ассоциация АЗТ». Следует помнить, что Никавир, так же, как и другие препараты для лечения СПИДа, способен приостановить течение болезни, но не излечить. ■

СПАСТИ ПЛАНЕТУ

Рентгеновские исследования показывают, как отразить астероидную атаку.

Стив Надис

Джон Ремо (John L. Remo) посвятил свою жизнь идее спасения нашей планеты. В отличие от большинства мечтателей, Ремо – здравомыслящий физик, сотрудник Гарвардско-Смитсоновского астрофизического центра. Его исследования направлены на достижение этой скромной цели.

С середины 90-х годов Ремо и его коллеги из Национальной лаборатории в Сандии проводили первые эксперименты по выяснению механизма передачи импульса от высокоинтенсивных вспышек излучения фрагментам метеорита. Располагая самым мощным в мире рентгеновским генератором – Z-машиной, Ремо и его коллеги смогли бы изменить траекторию приближающихся к Земле астероида или кометы.

Разрушительное столкновение нашей планеты с околоземным объектом – вопрос времени. Например, астероид 2002 MN: в июне этого года космическое тело размером 100 м пролетело в 120 тыс. км от нашей планеты. По мнению Ремо, оно оказалось слишком близко от Земли, и нам стало не по себе. Надо учесть, что астероид 2002 MN был обнаружен лишь спустя 3 дня после того, как он миновал нашу планету.

Еще более тревожными были первые сообщения об астероиде NT7, который, как ожидается, пройдет рядом с Землей в 2019 г.: его размер – 2 км! Столкновение такого «камешка» с нашей планетой повлекло бы глобальные разрушения. К счастью, последние расчеты показали, что астероид минует Землю.

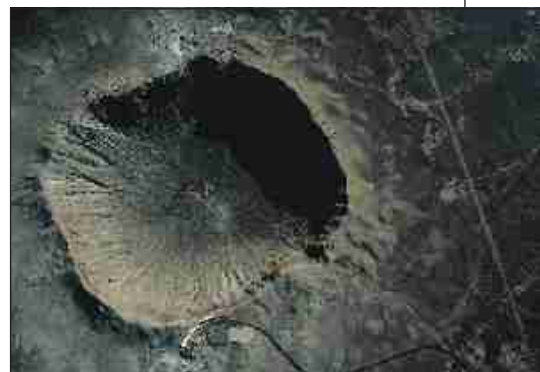
Десятилетиями исследователи наблюдали за миграцией околоземных объектов и изменениями их траекторий. В 1992 г. Ремо присоединился к группе специалистов из Лос-Аламосской национальной лаборатории, изучающих траектории падающих на на-

шу планету космических объектов. Он пришел к выводу, что необходимо исследовать материальные свойства околоземных объектов для предсказания их реакции на импульс.

Физик Брюс Ремингтон (Bruce A. Remington), из Ливерморской национальной лаборатории им. Лоуренса, считает такие исследования очень своевременными. «Исследователи получают реальные цифры, которые помогут выяснить, сколько потребуется энергии, чтобы отклонить объект, угрожающий столкновением с планетой. Задача определения величины необходимой энергии слишком сложна, чтобы сделать вычисления без проведения экспериментов», – добавляет он.

Критическим параметром Ремо считает «коэффициент передачи импульса», позволяющий оценить эффективность, с которой излучение, поражающее объект, преобразуется в кинетическую энергию. Импульсы высокоэнергетического рентгеновского излучения, генерируемые Z-машиной, разрушают материал цели (до настоящего времени было испытано шесть различных метеоритов), испаряя поверхностный слой и образуя плазменную струю, которая отбрасывает метеорит в противоположном направлении. Ремо совместно с Майклом Фернишом (Michael D. Furnish) из Сандии рассчитали скорость частиц, измерив доплеровский сдвиг частоты отраженного лазерного излучения.

Поскольку ядерные взрывы сопровождаются интенсивным рентгеновским излучением, Z-эксперименты проводятся так, чтобы смоделированный ядерный взрыв сместил околоземный объект на безопасную траекторию. Основываясь на расчетах коэффициента передачи, Ремо полагает, что ядерный взрыв средней мощности может справиться ▶



ГЛУБОКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

Аризона: метеорит, размер которого можно приблизительно оценить всего в 25 м, образовал при падении кратер диаметром 1,2 км!

ИССЛЕДОВАНИЯ ЗА СВОЙ СЧЕТ

Джон Ремо руководит компанией Quantum Resonance, занимающейся лазерной аппаратурой (г. Сент-Джеймс, штат Нью-Йорк). Будучи ее акционером, он за свой счет начал исследовать околоземные объекты. «Использование лазеров и Z-машины для придания падающим на Землю метеоритам безопасной траектории – совершенно новое направление. Пока не существует каких-либо программ финансовой поддержки, так как данную работу невозможно отнести ни к какой из признанных научным миром категорий исследований, – объясняет Ремо. – Если бы я ждал финансирования, то к своей работе смог бы приступить лишь спустя многие годы».

с такой задачей. Например, ядерный взрыв мощностью 25 килотонн в состоянии сместить объект диаметром в 1 км с опасной траектории. Если мы знаем заранее о приближении космических тел или же если их размер невелик, то лучше отказаться от ядерного взрыва.

«Существуют, конечно, серьезные трудности при пересчете результатов, полученных для мелких камушков размером 1 см, на скалы диаметром в сотни метров. Тем не менее коэффициенты передачи можно измерить в лабораторных условиях, – отмечает Ферниш. – Рентгеновские лучи взаи-

модействуют с веществом на микроскопическом уровне независимо от того, является ли объект гигантским астероидом или же микрометеоритом». Однако основные сомнения вызывает то, что мы не знаем, являются астероиды цельными объектами или же это непрочные скопления камней. «Если это куча булыжников, то вы можете сместить на правильную траекторию только определенную их часть другие продолжат путь в опасном для нашей планеты направлении», – предостерегает Ферниш.

Ремо разрабатывает эксперименты для того, чтобы успешно решить проблему безопасности нашей планеты. «Лучше не пугать людей прогнозами неминуемой гибели планеты от столкновения с космическим телом, а рассказать человечеству, что необходимо сделать», – говорит Ремо. ■

ОБ АВТОРЕ:

Стив Надис (Steve Nadis) работает в Кембридже, Массачусетс.

ФУТБОЛ БЕЗ ЛЮДЕЙ

На кубке «РобоКап-2002» в футбол сразились андроиды.

Дэннис Нормайл



Робот Эректус выполняет пенальти, в то время как один из студентов Сингапурского политехнического института, участвовавший в его создании, готовится поймать своего питомца, если тот споткнется. Турнир 2002 г. собрал в Японии 193 команды из 30 стран и регионов.

Фут-Принтс, нападающий команды Японии, и Тао-Пай-Пай, вратарь новозеландцев, ждут, пока мяч устанавливается на отметку для пенальти. По свистку Фут-Принтс направляется к мячу, медленно переставляя ноги. Тао-Пай-Пай, пошатываясь, устремляется на перехват. Слабый удар нападающего, и мяч медленно вкатывается в ворота мимо вратаря. Толпа взрывается криками, как будто идет матч чемпионата мира...

Ежегодный футбольный турнир роботов «РобоКап-2002» проходил в японском городе Фукуока в июне 2002 г. «Цель турниров «РобоКап» – к 2050 г. подготовить команду роботов, которая сможет победить чемпионов мира среди людей», – говорит Хироаки Китано (Hiroaki Kitano), специалист по искусственному интеллекту из компании Sony, президент Федерации «РобоКап».

Роботы, принимающие вызов бразильцев, вызывают улыбку. Но энтузиазм, который проявляют специалисты к робототехнике во всем мире, безусловно заслуживает уважения. Китано и его коллеги проводят «РобоКап» с 1997 г., надеясь, что столь грандиозное шоу будет способствовать разви-

тию робототехники и искусственного интеллекта.

На первом турнире соперниками были около двадцати групп колесных роботов и компьютерных моделей, в которых игроки моделировались на отдельных компьютерах, а их взаимодействие контролировалось сервером. В этом году в турнире участвовало почти 200 команд. Матчи проводились на крытом стадионе «Доум» в г. Фукуока, и за четыре дня их посетило 127 тыс. зрителей. На поле впервые вышли человекоподобные роботы, которые еще не научились бегать и поэтому соревновались в ходьбе.

Зрелище оказалось таким же волнующим, как дуэль бразильца Рональдо с вратарем сборной Германии Оливером Каном. Некоторые роботы передвигались с неуверенностью ребенка, делающего первые шаги, другие ступали с осторожностью старика. Создатели моделей были готовы в любой момент подхватить свое детище, если оно споткнется (вмешательство человека наказывалось 30-секундной добавкой к времени на дистанции).

Колесные роботы, которым не придется расходовать ценные вычислительные ресурсы на сохранение равновесия,

могут реагировать на движущийся мяч в реальном времени. С точки зрения чистой эффективности, ходьба нерациональна. В таком случае непонятно, зачем усложнять задачу? Этот вопрос давно обсуждается в робототехнике.

«В начале 80-х годов прошлого века в США шли горячие споры о том, должен ли робот походить на человека», – объясняет Кристофер Аткинсон (Christopher G. Atkenson), специалист по робототехнике из Университета Карнеги-Меллона. В то время исследователи и, что важно, финансирующие организации были заинтересованы в роботах для автоматизации производства. Ход рассуждений, по словам Аткинсона, был таким: «Если наша цель – делать видеомэгнитофоны, зачем требовать, чтобы робот был похож на человека». Он добавляет также, что военные отвергли идею солдат-роботов.

В Японии выбор «ноги или колеса» долгое время определялся конкретным применением. Масато Хироси (Masato

Hirose), возглавлявший в компании Honda разработку Асимо (Asimo) – квазиавтономного шагающего человекоподобного робота, объясняет, что японские исследователи стремились к созданию робота-помощника. «Преимущество человекоподобного робота – он пройдет везде как человек, – утверждает он. – В частности, он может подниматься и спускаться по лестницам, перемещаться в ограниченном пространстве». Хироси добавляет также, что, если робот похож на человека, общение с ним становится естественным.

Хироаки Китано считает, что успех человекоподобных роботов нельзя считать окончательным. Только сотрудничество всех ученых мира позволит одержать желанную победу над чемпионами мира по футболу. ■

ОБ АВТОРЕ:

Дэннис Нормайл (Dennis Normile) живет в Токио.

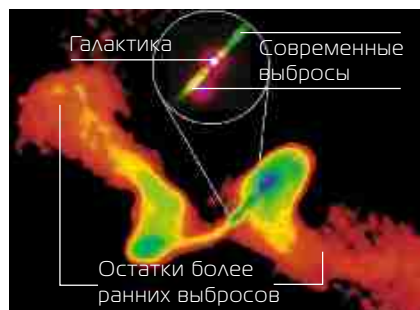
ШАГАЯ К ПОБЕДЕ

Япония лидирует в разработке человекоподобных роботов, представив 5 из 12 участников «РобоКап-2002» в этой категории. На поле вышли роботы из Австралии, Дании, Новой Зеландии, Швеции и Сингапура. (США не были представлены в этом виде программы, притом что десятки команд из США участвовали в соревнованиях колесных роботов и моделей). Японские команды завоевали основные призы в категории человекоподобных роботов: Фут-Принтс, созданный двумя энтузиастами-непрофессионалами, победил в классе человекоподобных роботов размером не более 40 сантиметров. Нагара, сконструированный в Промышленной ассоциации префектуры Гифу, превзошел всех участников в классе 80-сантиметровых роботов.

СЛИЯНИЕ ЧЕРНЫХ ДЫР

Деформированные радиовыбросы могут свидетельствовать о слиянии черных дыр.

Дж. Минкел



Слияние черных дыр могло привести к смещению выбросов из радиогалактики NGC 325. Первоначально выбросы, подобно стрелкам на циферблате часов, указывали на 10 и 4 часа, теперь же они указывают на 8 и 2 часа.

Исследователи предполагают, что при столкновении двух галактик сверхмассивные черные дыры в их ядрах сливаются. Но доказать это до сих пор не удавалось. Теперь астрофизики Дэвид Меррит (David R. Merritt) из Университета Ратджерса и Роналд Экерс (Ronald D. Ekers) из обсерватории «Австралийский телескоп CSIRO» нашли подтверждения такого слияния. Они считают, что это выбросы причудливой формы из активных галактик, являющиеся сильными радиоисточниками и изменяющие свое направление, когда большая черная дыра поглощает меньшую.

Эти выбросы, образующиеся, когда вещество падает по спирали на черную дыру, по-видимому, направлены вдоль ее оси вращения. Ученые пришли к выводу, что даже маленькая черная дыра способна заставить повернуться своего партнера при их слиянии, поэтому потоки изменяют свою форму с прямолинейной на искаженную X-образную. Зная число галактик, у которых наблюдается эта особенность, и время жизни выброса – 100 млн лет, они подсчитали, что в год происходит одно слияние. Это полезная информация для тех, кто разрабатывает детекторы гравитационных волн. ■



Что выгоднее для человечества: получить быструю прибыль от хозяйственной деятельности, вызывающей нарушение гармонии в природе, или сохранить ее в первозданном виде? Ученый Эндрю Балмфорд (Andrew Balmford) и его коллеги из Кембриджского университета оценили преимущества хозяйственной деятельности человека.

Общая себестоимость сохранения:
(в пересчете на 1 га площади)

- Лесов **-\$2 570**
- Земель, занятых фермами, (на освобожденной от лесов земле) **-\$2 110**
- Земель, на которых произрастают манговые деревья **-\$60 400**
- Ферм по выращиванию креветок, образованных на землях, где ранее произрастали манговые деревья **-\$16 700**
- Заболоченных территорий **-\$8 800**
- Ферм на осушенных территориях **-\$3 700**

Сейчас заповедные земли составляют 7,9%
Процент заповедных земель для гарантированного сохранения дикой природы в будущем – 15%. Ежегодные расходы на поддержание первозданных земель оцениваются в \$20 миллиардов по сравнению с \$28 миллиардами, которые надо будет вложить в возделывание земли. А услуги компаний, непосредственно участвующих в этих работах, оцениваются в \$4,4 триллиона и \$5,2 триллиона соответственно.

ЖИР ПРОСТО ТАЕТ

Дж. Минкел

Мыши с видоизмененными генами могут теперь есть все, что пожелают. Учеными был выделен непарный ген, ответственный за синтез жирных кислот в организме, получивший название SCD-1. Грызуны, у которых отсутствует SCD-1, не прибавляют в весе, поглощая богатые высокожирные продукты и сахарозу. Замечено, что у мышей-мутантов уровень сахара в крови остается неизменным, указывая на практически исключенную возможность возникновения диабета. Исходя из уровня кислородного потребления, исследователи заключили, что избыточные калории просто сжигаются в организме грызунов. «С течением времени кожа и глаза животных, входивших в контрольную

группу, становились сухими. Мыши-мутанты, в организме которых был отмечен синтез только половины нормального количества фермента, имели меньший вес по сравнению с обычными грызунами. Причем не было отмечено никаких побочных эффектов», – сообщает результаты работы Джеймс Нтамби (James M. Ntambi), ведущий исследователь Висконсинского университета в г. Мэдисон. С оптимизмом глядящая в недалекое будущее, он прогнозирует, что подходящее лекарство для профилактики и борьбы с ожирением и диабетом людей будет найдено. В настоящее время начат следующий этап исследований по изучению SCD-1-гена человека. ■

ПОБЛИЖЕ К БОГАТЫМ

Филип Ям

Если вы хотите наслаждаться пением птиц, то прежде всего позаботьтесь о корме для них. Исследователи из Университета штата Аризона Энн Кинзиг (Ann P. Kinzig) и Пэйдж Воррен (Paige S. Warren) обнаружили интересный факт из жизни пернатых. Птицы из города Финикс в штате Аризона предпочитают обитать в лесных массивах рядом с состоятельными людьми, явно избегая парков в районах с малообеспеченными жителями. Ученые подсчитали среднее годовое количество видов птиц, встречающихся в различных местах. Результаты удивляют. Так, «богатые» парки в среднем посещают 28,2 вида птиц в год, на «средний класс» приходится порядка 23,2 видов, а в районах, находящихся в запустении, встречаются 17,5 видов птиц в год. Ученые полагали, что неравномерность заселения парков вызвана изобилием или недостатком деревьев.

Поразительно, но характер растительности не влияют на численность птиц. На самом деле, в «бедных» парках зеленые насаждения оказались разнообразнее. «Социально-экономический статус, – отмечает Энн Кинзиг, – превалирует над многими другими возможными причинами, которые влияют на формирование птичьих предпочтений». ■

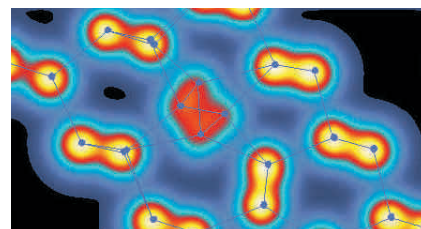
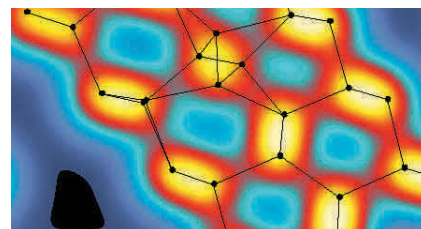


СФЕРИЧЕСКАЯ АБЕРРАЦИЯ

Дж. Минкел

Магнитные линзы электронных микроскопов имеют такой же недостаток, как и их оптические собратья: очертания структур, исследуемых с их помощью, расплывчаты. Одной из основных причин, обуславливающих подобные недостатки магнитных линз, является сферическая aberrация. Ученые из Ватсоновского исследовательского центра IBM в Йорктаун-Хайтс и из Nion R&D в Киркленде предложили использовать составные линзы и сложное программное обеспечение для устранения сферической aberrации. Толщина результирующего электронного луча электронного микроскопа меньше диаметра атома

водорода. Это позволяет получить прямое изображение атомной структуры, размер которой меньше 1 ангстрема (1 ангстрем = 10^{-10} м). Результаты этих работ очень важны для дальнейшего обследования структуры микрочипов, размеры которых по мере развития науки становятся все миниатюрнее. Ученые получили новый инструмент, позволяющий фиксировать атомные дефекты в материале, вплоть до обнаружения того или иного единичного атома вещества. Все предшествовавшие исследования давали лишь некоторое представление о подобных атомных дефектах. ■



СТРУНЫ В КОМПЛЕКТ НЕ ВХОДЯТ

Стив Эшли

В электронных музыкальных инструментах обычно используется MIDI-интерфейс для преобразования механических вибраций в цифровые данные, которые компьютер превращает в звук с помощью программного обеспечения. К сожалению, подобного рода музыкальные инструменты не чувствуют едва уловимые движения рук музыканта, не могут распознать решающую для выразительной игры тактильную информацию.

Чарльз Николс (Charles Nichols), начавший свои исследования в Станфордском университете, сейчас преподает музыкальную композицию в Университете штата Монтана. Он изобрел электронный смычок для скрипки, который обладает всеми достоинствами традиционного и передает все нюансы исполнительского мастерства музыканта. Своему детищу Николс дал имя v-Bow.

Необычный смычок изготовлен из стекловолоконного прутика, скользящего по каналу, соединенному с основой, по форме напоминающей скрипку. Серводвигатели и тросы позволяют воспроизвести привычную осязательную реакцию скрипки, а высокочувствительные сенсоры передают мельчай-

шие движения руки музыканта. Прежде чем приступить к созданию компьютерных музыкальных произведений, изобретатель ищет достойную замену струнам и корпусу традиционной скрипки. Создание виртуального инструмента Николс планирует завершить через несколько лет. ■



НОВОЙ НАУКЕ – НОВЫЕ КАДРЫ

В МГУ открыт новый факультет – биоинженерии и биоинформатики

В.П. Скулачев

На только что миновавшем рубеже тысячелетий случилось событие, которому, как можно думать, предопределено стать решающим в судьбе человечества: удалось расшифровать геном человека. Для биологов названное открытие имеет такое же значение, как для химиков – открытие периодического закона Д. И. Менделеевым или для астрономов – законов небесной механики Кеплером и Ньютоном. Еще предстоит большая работа по аннотации отдельных генов, но уже ясно, что главный барьер взят. Сказанное означает,

что вместо случайной селекции, которой человечество занималось с незапамятных времен, можно приступить к целенаправленному изменению геномов промышленных микроорганизмов, сельскохозяйственных животных и растений. Логическим завершением станет совершенствование генома человека. В первую очередь, речь пойдет об исправлении врожденных генетических дефектов, вызывающих наследственные болезни. Затем на повестку дня будет вынесен вопрос о совершенствовании самой природы

человека. Вот что писал около ста лет назад наш великий соотечественник И. И. Мечников, один из первых Нобелевских лауреатов: «Человек, явившийся в результате длинного цикла развития, носит в себе явные следы животного происхождения. Приобретая неведомую в животном мире степень умственного развития, он сохранил многие признаки, оказавшиеся ему не только ненужными, но и вредными».

С расшифровкой человеческого генома проблема освобождения людей от атавизмов переходит из области науч-



ной фантастики в практическую плоскость. Сегодня вновь обсуждается высказывание Августа Вейсмана о том, что старение и смерть от старости – «изобретение» биологической эволюции, призванное ускорить ее ход. Человек давно уже не полагается на медленный темп своего видоизменения: если нам нужно взлететь, мы строим самолет, а не ждем, пока за спиной вырастут крылья. Поэтому человечество может смело пренебречь механизмами своей эволюции в обмен на «отмену» старости, вместе с инфарктом, инсультом и прочими старческими болезнями. Для решения всех этих проблем, которые многим еще и сейчас кажутся фантастическими, потребуются кадры биоинженеров – биологов новой формации, не только объясняющих, как функционируют живые существа, но и изменяющих их требуемым образом. Вот почему в 2002 г. в МГУ по инициативе ректора университета академика В. А. Садовниченко был создан факультет биоинженерии и биоинформатики. Биоинформатика – это применение математических методов к биологическим объектам. Огромный объем информации о структуре различных генов, общедоступной через всемирные банки данных, нуждается в осмыслении с помощью новых математических подходов. Достижения в этой области позволяют анализировать генетический аппарат клетки и разрабатывать планы создания новых биологических объектов, просто сидя за компьютером.

В 2002 г. Министерством образования РФ утверждена новая специальность «биоинженерия и биоинформатика». Отличительными чертами новой специальности стали введение специальных дисциплин (генной инженерии; биоинженерии микроорганизмов, растений и животных; клонирования и трансплантации клеток; белковой ин-

женерии) и существенное увеличение объема преподавания математики и особенно информатики как в общем курсе, так и в рамках специализированных курсов по биоинформатике.

Первые 39 человек были зачислены на новый факультет летом 2002 г. В этом году состоится следующий конкурс. Можно существенно повысить свои шансы поступить на новый факультет, приняв участие в весенней Олимпиаде «Абитуриент МГУ» по математике, химии и биологии, которая пройдет с 11 до 13 мая 2003 г. Победители получают право зачета результатов олимпиады на вступительных экзаменах по математике, химии, биологии, а оценки по русскому языку из аттестата – как оценки за сочинение. Дополнительную информацию можно получить по телефону (095) 939-3158, по электронной почте olimp@genebee.msu.ru, а также на сайте www.fbb.msu.ru. К услугам абитуриентов очные и заочные подготовительные курсы по математике, химии, биологии, русскому языку и литературе. Летние приемные экзамены проходят со 2 по 15 июля. Прием документов с 20 июня по 1 июля включительно.

Абитуриенты сдают четыре вступительных экзамена: математику, биологию химию, сочинение. Набравшие проходной балл обучаются бесплатно. Абитуриенты, сдавшие экзамены на положительные оценки, могут быть зачислены на контрактной основе. Все иногородние на время вступительных экзаменов обеспечиваются общежитием. ■

ОБ АВТОРЕ:

В. П. Скулачев, доктор биологических наук, профессор, академик РАН, директор НИИ физико-химической биологии МГУ, декан факультета биоинженерии и биоинформатики МГУ.

КОММЕНТАРИЙ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Открытие нового факультета в Московском государственном университете представляется своевременным и радостным событием. Это решение подчеркивает все значение современных открытий в биологии, значение, которое трудно преувеличить. Открывающиеся здесь возможности, несомненно, больше чем те, которые дало нам овладение ядерной энергией или развитие современных компьютеров. Правда, наука едина и все ее отрасли взаимосвязаны. Так, без современной информатики не возможно было бы и развитие биотехнологии. Недаром один из основателей этой науки лауреат Нобелевской премии Дэвид Балтимор определил современную биологию, как информационную науку. Вместе с этим надо сказать и о том искажении ценностей в науке, о чем красноречиво напомнил президент Лондонского королевского общества лорд Роберт Мэй:

«Безусловно интересно рассуждать о том, существует ли жизнь на других планетах, о судьбе Вселенной и структуре атома. Но при этом мы забываем о насущных земных проблемах, с которыми сталкиваемся ежедневно. Есть общечеловеческие вопросы, требующие к себе особого отношения, наибольшего понимания и немедленного решения, такие, например, как изменение климата. Но, к сожалению, они часто не рассматриваются на научном уровне, хотя и относятся к будущему человечества и затрагивают судьбу всей жизни на Земле».

Генетическое совершенствование природы человека, безусловно, относится к такого рода общечеловеческим вопросам.



ВНИМАНИЕ – КОНКУРС

Клуб российских членов Европейской Академии приглашает молодых российских ученых принять участие в 10-ом конкурсе на соискание премий Европейской Академии. Премии присуждаются за фундаментальные научные исследования (точные, естественные и гуманитарные науки), выполненные в России и опубликованные в виде статей в ведущих научных журналах или книгах. Победителям будут вручены дипломы, медали и денежные премии в размере 1000 долларов. Правила конкурса помещены на сайте www.genebee.msu.ru

ПОДСЛАСТИТЕ БИОЛОГИЮ

Как игра в теннис привела к созданию метода секвенирования полисахаридов.

Майк Мей

Еще каких-нибудь десять лет назад многие молекулярные биологи были буквально помешаны на генах, но только не Рам Сасисехаран (Ram Sasisekharan). Он смотрел далеко вперед, его занимала не ДНК и не белки, а сахара. Полимеры сахаров (полисахариды) широко распространены в природе: они покрывают поверхность всех клеток. Однако в то время их считали инертными веществами, не несущими никаких важных биологических функций, чем-то вроде пластиковой баночки из-под аспирина, никак не влияющей на способность лекарства снимать головную боль. Но Сасисехаран доверял своей интуиции. «Я чувствовал, – говорил он, – здесь кроется что-то очень важное». И не ошибся.

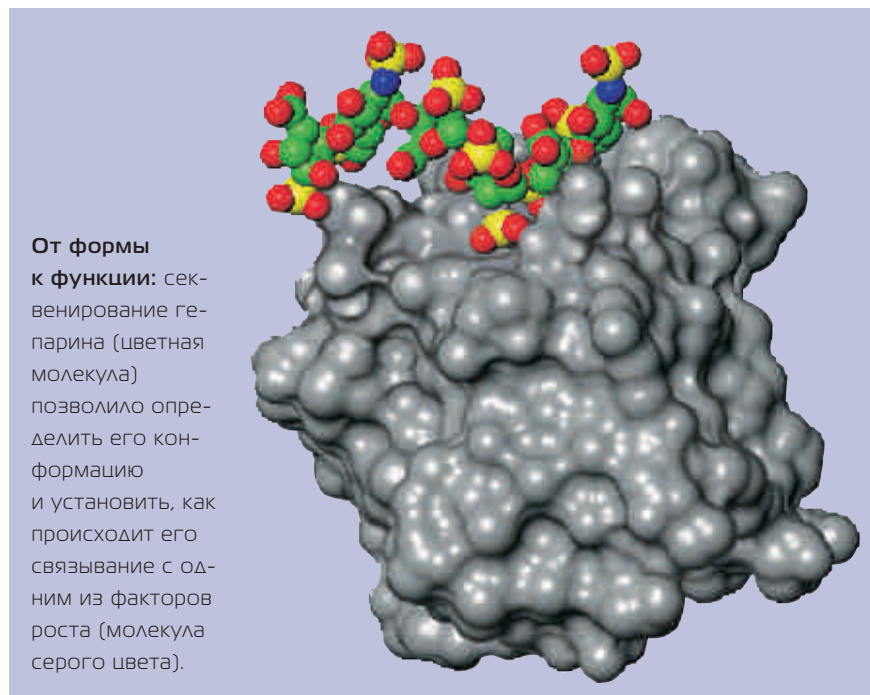
В конце 1980-х гг. Сасисехаран поступил в аспирантуру к Роберту Лангеру (Robert Langer) в отдел химических технологий Массачусетского технологического института. За лабораторией Лангера закрепилась репутация «фабрики изобретений», и любого среднего студента это пугало. Но Сасисехаран был не робкого десятка: он решил заняться проблемой, за которую никто не брался. Тогда Лангер поставил перед ним задачу клонировать гепариназу. Ранее этот орешек был не по зубам многим аспирантам. Гепариназа – фермент, расщепляющий полисахариды из семейства гепаринов, которые покрывают клеточную поверхность. При таком расщеплении из внеклеточного матрикса (это что-то вроде соединительной ткани) могут высвобождаться факторы роста. В медицине гепарин используют как антикоагулянт, предотвращающий

тромбообразование после хирургического вмешательства, а также как терапевтический препарат, способствующий рассасыванию тромбов.

Сасисехаран решил использовать общепринятый подход: сначала определить аминокислотную последовательность фермента и установить на ее основе структуру, а затем и функцию гепариназы. Но для этого ему нужен был партнер. Неожиданно он нашел его на теннисном корте; это был химик-технолог Ганеш Венкатараман (Ganesh Venkataraman), работающий над докторской диссертацией в Массачусетском технологическом институте. Обмениваясь теннисными ударами, ученые беседовали о белках. «Я убеждал его заняться созданием рекомбинантной гепариназы, – вспоми-

нал Сасисехаран, – и одновременно изучением полисахаридов». Вскоре Сасисехаран сам расшифровал последовательность аминокислот, из которых и состоит гепариназа.

Однако за всем этим стоял другой интерес – фермент нужен был Сасисехарану для того, чтобы исследовать биологическую роль полисахаридов. Работа над гепариназой, как и следовало ожидать, привела его к созданию вещества, которое этот фермент расщепляет, – к гепарину. Вначале нужно было определить, из каких мономерных единиц состоит этот полисахарид и в какой последовательности они соединены в молекуле. Сасисехаран надеялся, что это поможет ему установить трехмерную структуру гепарина. Такой подход был выбран им не слу-



От формы к функции: секвенирование гепарина (цветная молекула) позволило определить его конформацию и установить, как происходит его связывание с одним из факторов роста (молекула серого цвета).

чайно. Из давних бесед со своим наставником, биофизиком Висванатаном (Viswanathan), молодой биофизик четко усвоил: путь к установлению функций макромолекул лежит через определение их конформации.

Венкатараман занялся выяснением структуры гепарина. «Чем глубже я вникал в эту проблему, – вспоминал он, – тем больше убеждался практически в

раман, – требовалось объединение усилий разных специалистов. Рам мог использовать биохимический подход, а я – инженерный». Сасисехаран отчетливо понимал всю важность секвенирования сложных сахаров, а Венкатараман пытался найти способ преобразования наборов полисахаридных цепочек в ряды больших чисел.

результаты своей работы в 1999 г. и запатентовали изобретенный ими метод секвенирования полисахаридов. «Раньше секвенирование одного полисахарида составляло тему дипломного проекта, – заметил Венкатараман, – а теперь это работа на один день».

Ученые создали инструмент, с помощью которого можно было ответить на ключевой вопрос: как связаны меж-

Раньше секвенирование

одного полисахарида составляло тему дипломного проекта, а теперь это работа на **ОДИН ДЕНЬ**.

полном отсутствии данных о последовательности мономерных единиц в гепарине». Нужно было разработать точный и быстрый способ нахождения этой последовательности (секвенирования). Гепарин не казался слишком сложным соединением, т. к. его молекула представляет собой цепочку из дисахаридов – двух связанных между собой сахаров. Однако каждый из сахаров в димере мог быть модифицирован по 4 позициям, что давало 16 разных производных, а соединение этих производных во всевозможных комбинациях давало уже 32 вещества с разными вкусовыми оттенками. Заметим, что все гены, в том числе и человека, состоят всего из 4 разных мономерных единиц, а белки – из 20. С этой точки зрения полисахариды гораздо более сложные соединения.

Закончив работу над докторскими диссертациями, Сасисехаран и Венкатараман остались в Массачусетском технологическом институте и продолжили разработку метода секвенирования полисахаридов. Прежде всего нужно было «перечислить поименно» все возможные последовательности. С 32 возможными вариантами лишь одного дисахарида даже для короткой цепочки получалось более миллиона изменений, и с увеличением длины цепи их число стремительно возрастало. «Для решения этой проблемы, – отмечал Венката-

рараман, – нельзя было обойтись без компьютера: только с его помощью стало возможно перебрать все мыслимые последовательности, сравнить их, выявить совпадения и расхождения. По существу, именно «поименное перечисление» полисахаридов и их компьютерный анализ позволили ученым отобрать единственно возможную последовательность для каждого полисахарида.

Научившись различать сложные сахара, нужно было придумать, как разрезать их на более короткие фрагменты, анализировать которые гораздо проще. Для этого Сасисехаран собрал целую коллекцию ферментов и химических веществ – своего рода «биологические ножницы».

Гепарин разрезали на фрагменты (их число зависело от того, какие именно «ножницы» для этого использовали) и определили их массу с помощью масс-спектрометра. Затем компьютеру задали вопрос: «Какие из всех возможных последовательностей, разрезанных данными «ножницами», могли дать такое распределение фрагментов по массе?» После того как компьютер отбросил несколько неподходящих версий, процедуру повторили с другими «ножницами», и так много раз. Наконец остался только один возможный вариант, отвечающий последовательности сахарных остатков в молекуле гепарина. Сасисехаран и Венкатараман опубликовали

ду собой структура полисахаридов и их функция? Кроме того, результаты их исследований оказались очень важны для медицины.

Недавно Лангер, Сасисехаран и Венкатараман основали компанию *Mimeon*, которая в ближайшем будущем вплотную займется производством гепарина. Впервые это вещество было получено из печени собаки. Хорошими антикоагуляционными свойствами обладал гепарин, полученный из кишечника свиньи. Однако у некоторых больных он слишком сильно снижал свертываемость крови, что грозило опасными кровотечениями. Один из его вариантов (низкомолекулярный гепарин) давал меньше побочных эффектов, но одновременно был более слабым антикоагулянтом. И тогда ученые из *Mimeon* попытались модифицировать структуру гепарина, чтобы получить варианты, обладающие хорошими антикоагуляционными свойствами и в то же время не дающее побочных эффектов. Клинические испытания, по-видимому, начнутся в 2003 г.

Но самое главное впереди. Сасисехаран и Венкатараман недавно сообщили, что совсем небольшие модификации сложных сахаров, покрывающих раковые клетки, приводят к гибели последних. Возможно, это откроет новые пути к созданию высокоспецифичных противоопухолевых препаратов. ■

ИХ НЕ ОСТАНОВИТЬ

Идея вечного двигателя жива и прекрасно себя чувствует в Патентном бюро США.

Грэхем Коллинз

В 1954 г. Роберт Шекли написал озорной рассказ «Лаксианский ключ», в котором речь шла об удивительном Бесплатном производителе. Это детище древней науки планеты Мелдж было приобретено злосчастным Арнольдом практически за бесценок на Свалке инопланетного хлама Джо. Продавец уверял, что устройство «берет энергию из воздуха, из космоса... откуда угодно. Его не нужно ни заправлять, ни обслуживать, и работает оно вечно». Древним ученым планеты Мелдж пришлось бы немало попотеть, чтобы получить в США патент на свой Бесплатный производитель: он сильно смахивает на вечный двигатель, запрещенный не только Патентным бюро США, но и законами термодинамики.

А может и нет. Рассмотрим свидетельство № 6 362 718, выданное в марте 2002 г. на «неподвижный электромагнитный генератор, работа которого не требует внешнего источника питания». Это означает, что после запуска устройство будет вырабатывать энергию в течение долгого времени после отсоединения элемента питания. Неограниченная энергия практически за бесценок!

Согласно патенту, вечный генератор представляет собой «открытую диссипативную систему, которая аккумулирует и рассеивает энергию, полученную из окружающей среды, а точнее – из магнитного поля постоянного магнита», являющегося ключевым компонентом устройства. В патентном свидетельстве хитроумно подмечено, что изобретение не может считаться вечным двигателем, так как при размагничивании магнита оно остановится. (Автор изобретения, однако, не удосу-

жился заметить, что это размагничивание на самом деле не может служить источником загадочно высокой мощности генератора.)

Это не первый случай патентования невозможного. Впервые патент на вечный двигатель был выдан в Англии в 1635 г. Мы можем простить проверяющей комиссии того времени незнание законов термодинамики, которые еще не были открыты. По словам Эрика Крига (Eric Krieg), одного из основателей Филадельфийской ассоциации критического мышления, к 1903 г. было выдано 603 патента на устройства такого рода.

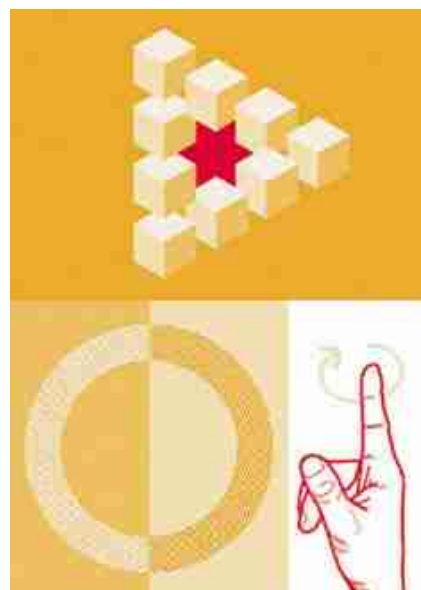
На примере вечного генератора мы убеждаемся, что наличие патентного свидетельства не гарантирует работоспособности устройства. Патентная комиссия оценивает прикладные свойства изобретения по четырем критериям: новизне, пригодности, неочевидности и достаточности описания. Последний критерий означает, что должен быть раскрыт принцип работы устройства, и если таковое не функционирует в соответствии с приложенным описанием, то оно не будет запатентовано как не соответствующее критериям пригодности и достаточности описания. Бремя ответственности за опровержение ложится на проверяющего. Использование изобретения на практике считается возможным до тех пор, пока не найдутся серьезные основания для сомнений. Достаточно, чтобы устройство было признано работоспособным по принципу «скорее да, чем нет».

Член Патентной комиссии может отдать распоряжение о проведении повторных испытаний изобретения. Более того, любой вправе потребо-

вать переосвидетельствования за плату в размере от \$2 800 до \$8 500. Несмотря на то, что тысячи патентов рассматриваются в суде, никому и в голову не приходит тратить свое время и деньги на разоблачение ошибочности их научного обоснования.

Поэтому некоторые изобретения из бесконечного потока вечных двигателей и других фиктивных устройств будут изредка получать патенты. А что же наш Арнольд и его Бесплатный производитель? Когда их видели последний раз, Производитель исторгал чудовищные объемы бесполезного серого порошка, и никто, даже владелец Свалки инопланетного хлама Джо, ничего не знал о том, где достать лаксианский ключ – единственное, что могло выключить удивительное устройство.

В следующем месяце в нашей рубрике мы продолжим обзор вечного двигателя в Патентном бюро США. ■



ФИЗИК И ЛОВЕЦ ЖЕМЧУГА

Судьба любой научной теории
обычно определяется репутацией автора.

Майкл Шермер



Оцените цитаты из двух книг, призванных совершить переворот в современной науке:

«Эта книга – результат двадцатилетнего труда по созданию науки нового типа. Я и не предполагал, что все так затянется. Работа затрагивает практически все сферы познания и даже простирается немного дальше за их пределы. Я пришел к выводу, что мое открытие – одно из наиболее важных во всей истории теоретической науки».

«Над этой книгой я работал 30 лет. Прочитав ее, вы поймете, что изложенные идеи могли прийти в голову только непрофессионалу. Столь всеобъемлющий переворот современного мышления, столь целостную теоретическую систему практически невозможно разработать в рамках академической науки».

Оба автора годами работали в одиночку. Оба создали в высшей степени самодостаточные теоретические системы и претендуют на переворот основ как физики, так и всей науки. Оба отказались от публикации работ в научных изданиях и вынесли свои идеи на суд общественности. Обе книги насыщены авторскими графиками и иллюстрациями, раскрывающими фундаментальные основы всего сущего.

Но между авторами имеется явное различие – об одном писали *Time*, *Newsweek* и *Wired*, а рецензия на книгу появилась в *The New York Times*. На другого практически не обратили внимание. В чем причины столь разного отношения? Первый получил степень кандидата физических наук в Калифорнийском технологическом институте в возрасте 20 лет и стал самым молодым лауреатом престижной Премии гениев Макарутура. Нобелевский

лауреат, крупнейший американский физик-теоретик Ричард Фейнман называл его «поразительным». На базе крупного университета он основал институт изучения вычислительных алгоритмов, затем бросил его и создал фирму по разработке программного обеспечения, где написал невероятно удачную компьютерную программу, которой пользовались миллионы ученых и инженеров. Другой автор был ловцом жемчуга, золо-



Иллюстрация атома гелия поясняет теорию Джеймса Картера, согласно которой вся Вселенная – от атомов до галактик – основана на «цирклонах» (circlons), «полых кольцеобразных механических частицах, связанных внутри ядра благодаря своей физической форме».

тоискателем, кинематографистом, туннелепроходчиком, ремонтником, изобретателем и владельцем парка автоприцепов. Сможете ли вы назвать имена авторов и определить, кому принадлежит каждая цитата?

Первый отрывок написан Стивеном Вольфрамом (Stephen Wolfram), гордостью Калифорнийского технологиче-

ского института и автором книги «Новая наука» (A New Kind of Science), в которой строение Вселенной и основы всего сущего описываются вычислительными правилами и алгоритмами, сложность которых соответствует клеточным автоматам. Вторая цитата взята из книги ныряльщика Джеймса Картера (James Carter) «Другая теория физики» (The Other Theory of Physics). В соответствии с его теорией «цирклонного» (circlone) строения Вселенной, основа материи – связующие все полые трубчатые кольца.

Прав Вольфрам или нет, мы со временем выясним: его идеи будут испытаны научной конкуренцией. А вот истинность идей Картера может так и остаться невыясненной. Почему? Потому что, нравится нам это или нет, в науке, как и в других сферах интеллектуальной деятельности, личность говорящего значит не меньше, чем смысл его слов.

Наша наука консервативна и в чем-то элитарна. Это помогает ей выжить: ведь на каждого Стивена Вольфрама приходится сотня Джеймсов Картеров. Поэтому для отделения по-настоящему революционных идей от суррогатов требуется жесткий отбор.

Присоединяйтесь к скептикам. На грани между наукой и псевдонаукой может возникнуть новая великая революция, поэтому нам интересны джеймсы картеры всего мира. Большинство их идей окажутся на свалке, но только после пристального рассмотрения. ■

ОБ АВТОРЕ:

Майкл Шермер – издатель журнала «Скептик» (Sceptic) (www.skeptic.com), автор книги «В тени Дарвина» (In Darwin's Shadow).

БАЛЬЗАМ ДЛЯ ТЕЛА И ДУШИ

Боб Кирш

Паллиативная терапия традиционно используется для лечения безнадежно больных. Но такая помощь нужна и людям, страдающим хроническими заболеваниями, утверждает доктор Энн Бергер из Национального института здоровья США.

Полки кабинета Энн Бергер (Ann M. Berger) в Клиническом центре Национального института здоровья им. Уоррена Гранта Магнусона забиты до отказа: толстые фолианты, учебники, разнообразные журналы, всевозможные папки и буклеты, среди которых

аккуратно расставлены семейные фотографии. Казалось бы, типичная обстановка врачебного кабинета, если не считать двадцати соломенных шляп и чайного столика, уставленного чашками и блюдами.

Но для Бергер эти предметы – медицинские инструменты, лечащие как разум, так и душу. Шляпы и чашки приходят на помощь, когда пациенту или его семье требуются душевная поддержка и специфическая врачебная помощь – такая, которую оказывает Бергер в своей паллиативной клинике.

Паллиативная терапия – это отрасль медицины, изучающая как физические симптомы (бессонница или тошнота), так и психологические состояния (беспокойство и депрессия). Сорокатрехлетняя Энн Бергер определяет это так: «Паллиативная помощь сочетает активное и сострадательное лечение. В первую очередь она призвана избавлять пациента и членов его семьи от физических, психологических, социальных и духовных страданий».

Бергер осознала всю важность и необходимость паллиативного лечения уже в четырнадцать лет. Тем летом от рака мочевого пузыря умер дедушка – самый близкий человек. Энн видела, с какой беспомощностью следила за развитием болезни вся семья, от родных неуверенность передавалась больному. Став сначала санитаркой, а затем студенткой медицинской школы, она хорошо помнила этот урок.

Бергер появилась со своей идеей в очень подходящий момент: к 1980 году движение «Хоспис» набирало силу, принося большое облегчение безнадежным больным. Тогда же некоторые врачи,



ЭНН БЕРГЕР: ПОМОЩЬ И УТЕШЕНИЕ

- Старший редактор книги «Принципы и практика паллиативного лечения и онкологической помощи», опубликованной в 2002 г., Энн планирует избегать любых упоминаний о раке в заголовках своих будущих изданий, применяя метод паллиативной терапии.
- Основала десятки программ по паллиативному лечению.
- Что вызывает раздражение: «Врачи, которые не понимают, что, наряду с привычными для них методами лечения, существуют и паллиативные».

специализирующиеся на лечении раковых больных, научились управлять их физическим и психическим состоянием. Исследования показали, что умеренные или сильные боли испытывает один из трех больных и 60–90% тех, у кого болезнь уже сильно прогрессировала. И тем не менее, борьба с болью не очень-то поощрялась, и многие медики не решались прописывать морфий и другие сильнодействующие болеутоляющие средства.

Став стипендиантом Медицинской школы Йельского университета, Бергер поняла, что хочет работать именно в этой области. В 1992 г. в Йеле она основала свой первый центр паллиативной помощи; позже Энн создала более сорока подобных организаций. Она стремилась, чтобы паллиативная терапия получила более широкое распространение. Ее целью было избавить пациентов от страданий и переживаний, порождаемых раком: облысения, сонливости, страхов, раздражительности, сексуальных дисфункций, а также побочных эффектов от принятия лекарств. Также Бергер боролась за то, чтобы больные, страдающие опасными хроническими заболеваниями, – диабетом, эмфиземой, рассеянным склерозом и сердечно-сосудистыми заболеваниями – могли получать наряду с традиционным лечением и паллиативную помощь. И она добилась своего. Сегодня в ее центре работает целый штат специалистов – от массажистов, музыкотерапевтов, иглотерапевтов, диетологов, социальных работников, священников и даже ветеринаров до хирургов и неврологов, способных проделать все процедуры, избавляющие от боли.

Ежедневно Энн Бергер сталкивается со множеством забот. Иногда она прописывает пациенту лечение традиционными современными методами. Временами перевоплощается в сердобольную соседку, способную просто поболтать с больным. Чаще становится педагогом, обучающим врачей и санитаров паллиативному ремеслу.

Бергер считает, что паллиативная терапия необходима и самим врачам,

и обслуживающему персоналу клиники. «Очень тяжело ежедневно сталкиваться с человеческими страданиями, – говорит она. – Когда ваши пациенты столь серьезно больны, то и вы постоянно переживаете кризис, кризис, кризис, кризис и чувство потери, потери, потери, потери». Немногие медики могут справиться со своими эмоциями, когда лечение оказывается безуспешным. «А тот, кто не в силах совладать с собственными чувствами, не способен лечить других», – утверждает Бергер.

Особого сопротивления среди врачей паллиативная терапия не встретила. Как говорит Расселл Портеной (Russell K. Portenoy), возглавляющий отделение паллиативного ухода в Медицинском центре им. Бет Израэль в Нью-Йорке, «пациенты, как правило, задаются вопросом: в чем причина болезни? А такие размышления убивают веру в себя, хотя часто и недооцениваются врачами, необученными определять и облегчать душевные страдания больных».

Энн Бергер хотела бы, чтобы в каждой больнице был по крайней мере

один врач или медсестра, разбирающиеся в методах паллиативной помощи. Она основала и возглавила рабочую группу, распространяющую ее программу по всему континенту. Но могут ли это позволить себе клиники, ограниченные в средствах? Бергер уверяет, что паллиативная медицина может даже содействовать сокращению расходов на лечение – например, помогая пациентам раньше выписываться из больницы или же реже попадать в госпиталь. Клинические исследования доказывают, что осуществление подобных программ экономически вполне возможно.

Если у Бергер и были какие-то сомнения в правильности избранного пути, то они развеялись буквально через три дня после того, как в августе 2000 г. пришлось обратиться за помощью, когда ей поставили диагноз рака груди. Хотя после хирургического вмешательства она чувствовала себя неплохо, все-таки прошла курс паллиативной терапии. «Когда я сама стала пациенткой, то поняла, чего мне не хватает больше всего, а именно – заботы и внимания. И теперь меня невозможно переубедить». ■



Медицинское совещание:

Энн Бергер часто встречается с коллегами, специализирующимися по уходу за больными, поскольку паллиативная терапия требует знаний специалистов во многих областях.

МЫСЛЬ

УПРАВЛЯЕТ РОБОТОМ

Мигель Николелис и Джон Чэпин



Обезьянка Бель карабкается по руке робота, которой она управляла из другой комнаты просто-напросто представляя себе движения руки в трехмерном пространстве.

Придет время, когда люди, прикованные к постели в результате неврологических расстройств или травм, смогут управлять инвалидными креслами, протезами и даже парализованными конечностями, просто-напросто «продумывая» их движения.

Когда крошечная подопытная обезьянка дурукули по имени Бель, удобно расположившись в специальном кресле в звуконепроницаемой камере лаборатории Университета Дьюка, видела, как на панели дисплея загорается ряд лампочек, ее правая рука хваталась за джойстик. Бель знала, что если внезапно вспыхнет свет и она передвинет джойстик в правильном направлении, ей в рот попадет немного фруктового сока. Эта игра ей нравилась, и она превосходно ее освоила.

К голове обезьянки была приклеена шапочка. Под ней размещались четыре пластиковых соединительных устройства с держателями (матрицами) микроэлектродов – проволочек тоньше человеческого волоса. Они были вживлены в ткань той области мозга Бель, которая отвечает за планирование движений и посылающую инструкции нервным клеткам в спинном мозге для дальнейшей реализации этих планов. Каждый из 100 микроэлектродов размещался у одного моторного (т. е. двигательного) нейрона. Когда нейрон генерировал электрический разряд, так называемый «потенциал действия», микроэлектрод «улавливал» электрический ток и через тонкий пучок проводов, выходящий из шапочки обезьянки, передавал его электронным устройствам, соединенным с двумя компьютерами. Один из них находился в соседней комнате, а другой – за тысячу километров от Бель, в Кембридже.

Долгие месяцы напряженной работы должны были завершиться испытанием, показывающим, возможно ли преобразование электрической активности мозга живого существа (проще говоря, мыслей нашей обезьянки) в сигналы, способные управлять действиями робота. В тот весенний день 2000 г. мы, без ведома Бель, смонтировали многозвенную руку робота, движениями которой обезьянке предстояло управлять. В общих чертах наш план выглядел так: головной мозг Бель фиксирует вспышку света, электронные устройства в режиме реального времени анализируют потенциалы действия нервных клеток, лабораторный компьютер преобразует паттерны электрической активности в инструкции, направляющие движения механической руки. А за тысячу километров, в Кембридже, другой компьютер выполняет такие же операции для другой искусственной руки, сконструированной Мандайамом Шринивасаном (Mandayam A. Srinivasan), заведующим Лабораторией по изучению контактов человек-машина в Массачусетском технологическом институте.

Нам требовалось преобразовать нейронную активность Бель в команды роботам всего за 300 миллисекунд. Именно такова естественная задержка между временем, когда моторная кора Бель планирует характер движения ее руки, и моментом, когда она посылает

мышцам соответствующие инструкции. Если головной мозг живого существа сможет управлять работой двух механических рук разной конструкции (несмотря на помехи и задержки в передаче сигналов, как в нашей лабораторной компьютерной сети, так и в сети Интернет), когда-нибудь это позволит больным людям управлять инвалидными колясками или даже парализованными конечностями.

И вот час пробил. Мы беспорядочно зажигали лампочки, и Бель тут же двигала рукоятку рычага в соответствии с сигналами, расположенными на панели. Руки нашего робота и робота в лаборатории Шринивасана двигались абсолютно синхронно с руками обезьянки, словно танцоры, управляемые электрическими импульсами, вспыхивавшими в мозгу Бель.



С того памятного дня прошло два года. Сегодня наши лаборатории располагают самым современным нейрофизиологическим и компьютерным оборудованием, микроэлектронными устройствами и робототехникой для разработки методик, с помощью которых крысы, обезьяны, а со временем и люди смогут управлять механическими и электронными машинами, просто-напросто «продумывая» их движения. Наша главная цель – дать возможность людям, парализованным в результате неврологических расстройств или травм спинного мозга, но не имеющим серьезных поражений моторной коры, манипулировать креслами-каталками или механическими конечностями. Когда-нибудь исследователи помогут таким больным вновь обрести способность управлять собственными руками и ногами посредством беспроводной связи между имплантатами в головном мозге и конечностях. Это могло бы привести к созданию устройств, позволяющих восстанавливать или улучшать моторные, сенсорные или когнитивные функции.

Медикам пока не по силам ликвидировать последствия травм спинного и головного мозга. В будущем ученые, возможно, научатся регенерировать поврежденные нейроны или «программировать» стволовые клетки (те, что способны превращаться в клетки разного типа). Но в обозримом будущем наиболее реальный способ восстановления моторных функций – использование интерфейсов мозг-машина (ИММ), или нейропротезов. Успешные эксперименты, проведенные нами этим летом на макаках, выполнявших иные задания, нежели Бель, приблизили нас к этой цели еще на один шаг.

От теории к практике

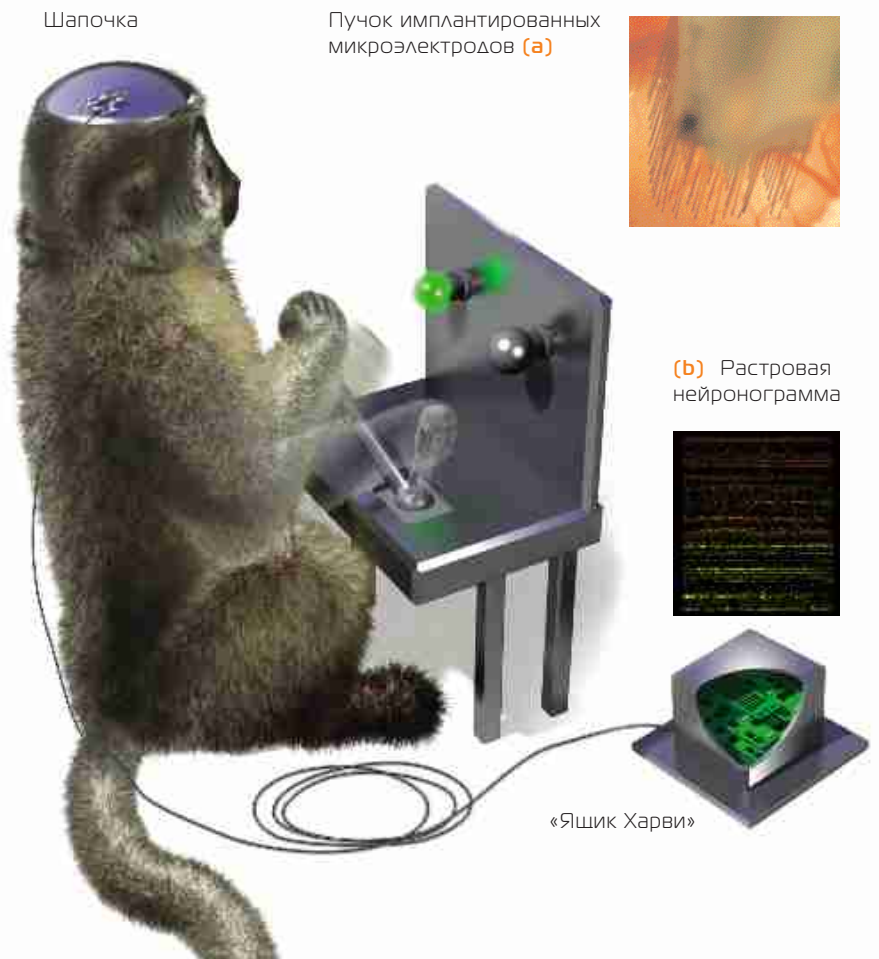
Недавние достижения в области интерфейсов мозг-машина отчасти основаны на открытиях 20-летней давности. В начале 1980-х гг. Апостолос Георгопулос (Apostolos P. Georgopoulos) из Университета Джонса Гоп-

кинса зарегистрировал электрическую активность одиночных нейронов моторной коры у макаков. Он обнаружил, что активность нервных клеток у обезьяны сильнее менялась тогда, когда она двигала рукой в определенном направлении. Когда же рука двигалась под некоторым углом к «предпочтительному» для нейронов направлению, их активность умень-

шалась пропорционально косинусу этого угла. Таким образом, выяснилось, что моторные нейроны коры «настроены» на широкий диапазон движений конечности и что, отдавая двигательную команду, головной мозг, вероятнее всего, руководствуется совместной активностью широко рассредоточенных популяций одиночных нейронов.

Когда Бель привела в движение многозвенную руку робота лишь одним усилием мысли, к ее голове была приклеена шапочка. Под нею размещались четыре пластиковых соединительных устройства, каждое с пучком имплантированных в кору тончайших микроэлектродов (а). Когда обезьянка замечала, что на панели вспыхивают лампочки, и принимала решение переместить рукоятку джойстика вправо или влево, микроэлектроды регистрировали электрические сигналы от активированных нейронов коры и передавали их электронным устройствам в «ящик Харви» «Ящик Харви» собирал, фильтровал, усиливал сигналы и пересылал их серверному

Бель в лаборатории Университета Дьюка в Дареме, штат Северная Каролина



Однако всякий раз, когда животное двигало конечностью, Георгопулос регистрировал активность лишь одного нейрона, расположенного в моторной области коры. А такой подход не мог подтвердить рабочую гипотезу – что схема кодирования движения возникает в результате одновременной активности многочисленных нейронов, расположенных во многих

корковых областях. Ученым было известно, что двигательные команды планируются и генерируются мозгом при взаимодействии лобной и теменной долей. Но технические возможности не позволяли нейрофизиологам осуществлять одновременную регистрацию нейронов в разных областях коры. Кроме того, большинство ученых в то время полагало, что

представление о работе головного мозга можно получить, изучая свойства нейронов «поодиночке» – подход, сравнимый разве что с попыткой объяснить экологическую структуру леса с помощью описания свойств отдельных деревьев.

К счастью, эту точку зрения разделяли далеко не все нейрофизиологи. Когда 14 лет назад авторы этой статьи ▶

Рука Бель длиной в тысячу километров

компьютеру в соседней комнате. Сигналы, поступавшие в ящик, могли быть представлены в виде растровых нейрограмм (б). Каждый горизонтальный ряд соответствует активности одиночного нейрона, зарегистрированной на протяжении некоего отрезка времени, каждый цветной штрих – разряд этого нейрона в данный момент времени.

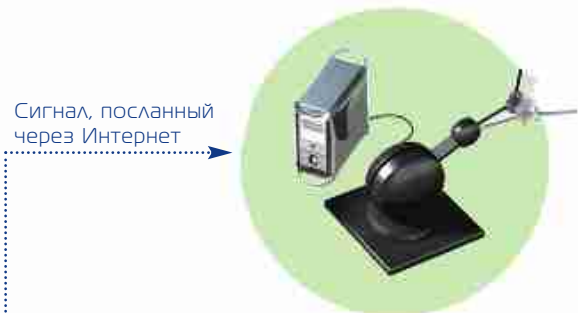
В свою очередь компьютер предсказывал траекторию движения руки, которое намеревалась совершить обезьянка Бель (с), и преобразовывал эту информацию в команды для воспроизведения этого движения механической рукой. Затем этот компьютер передавал команды другому, управлявшему рукой робота и находившемуся в комнате, расположенной в противоположном конце холла. Одновременно он посылал команды из нашей лаборатории в Дареме роботу в лаборатории, расположенном за тысячу километров от нашей. В результате обе механические руки двигались абсолютно синхронно с рукой Бель.

Компьютер (слева) и рука робота (справа) в комнате, расположенной в другом конце холла

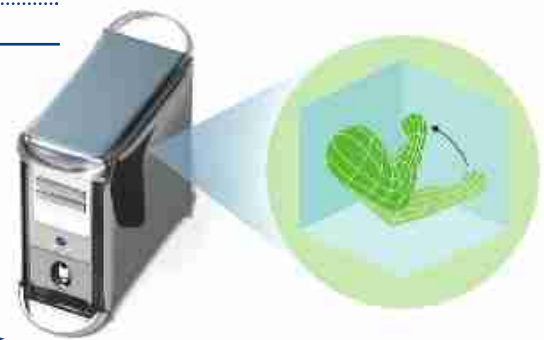


Обе механические руки двигались абсолютно синхронно

Лаборатория в г. Кембридж, штат Массачусетс



Сервер в комнате, соседней с комнатой Бель



(с) Предсказанная траектория движения руки

АВС

встретились в Университете Ханемана, речь тут же зашла об одновременной регистрации множества одиночных нейронов. В 1993 г. им удалось одновременно зарегистрировать активность 48 нейронов, расположенных в 5 структурах сенсомоторной системы крысы, т. е. в тех отделах головного мозга, которые воспринимают сенсорную информацию и используют ее для регуляции движений.

Мы добились столь успешных результатов благодаря новому поколению электродов, предназначенных для вживления в мозг животных. Они были изготовлены из нержавеющей стальной проволоки микроскопического диаметра с тефлоновым покрытием. В те годы большинство нейрофизиологов пользовалось стандартными электродами, напоминавшими швейные иглы. Эффективно работали они лишь несколько часов, т. к. у их кончиков скапливались химические компоненты клеток, образывавшие слой электроизоляции. Кроме того, острие электродов повреждало нейроны даже при незначительных смещениях головного мозга, неизбежно сопровождающих обычную двигательную активность животного. Микроэлектроды, разработанные в нашей лаборатории, были более гибкими и имели более тупые кончики диаметром около 50 микрон. Это дало нам возможность регистрировать активность одиночных нейронов целыми месяцами, и когда эта методика была освоена, мы приступили к

разработке систем для преобразования мозговых сигналов в команды, способные управлять работой механического устройства.

Совместно с инженером-электриком Харви Уиггинсом (Harvey Wiggins), Доналдом Вудвордом (Donald J. Woodward) и Сэмюелем Дэдвайлером (Samuel A. Deadwyler) из Медицинской школы Университета Уэйк-Форест мы сконструировали небольшой «ящик Харви» со специально сконструированными электронными устройствами, обеспечивающими выборочный анализ, фильтрацию и усиление нейронных сигналов, отводимых многочисленными электродами. Специально разработанные программы, благодаря анализу особенностей электрического разряда каждой из клеток, позволяли дифференцировать электрическую активность до 4 нейронов, одновременно регистрируемых одним электродом.

Головной мозг крысы управляет движениями рычага

В специальной серии опытов, проведенных в середине 1990-х гг. мы обучали крысу управлять движениями рычага лишь усилием «мысли». Вначале мы тренировали животное нажимать передней лапой на педаль, соединенную с рычагом, находившимся за пределами клетки. Когда крыса нажимала на нее, электронное устройство наклоняло рычаг, и из желоба вытекала вода, которую животное могло выпить.

На голове крысы мы укрепили небольшой аналог интерфейса мозг-машина, которым впоследствии предстояло воспользоваться Бель. Всякий раз, когда головной мозг животного отдавал лапе команду нажать на педаль, осуществлялась одновременная регистрация потенциалов действия 46 нейронов. Интегратор, запрограммированный с помощью подбора регистров, оценивал и обрабатывал сигналы нейронов и генерировал единый аналоговый выход, очень точно предсказывавший траекторию движения лапы крысы. Мы соединили этот интегратор с устройством управления, посредством которого он мог передавать команды рычагу.

Когда крыса научилась нажимать на педаль, чтобы получать воду, мы отсоединили ее от рычага. Крыса давила на педаль, но ничего не происходило. Зверек отчаянно повторял это действие много раз. И вдруг рычаг наклонился, и крыса получила каплю воды. Животное не ведало, что 46 нейронов в его мозгу выдали точно такой же паттерн импульсной активности, что и в случаях, когда нажатие на педаль избавляло крысу от жажды. И этот паттерн заставил интегратор привести в движение рычаг.

Спустя несколько часов крыса окончательно поняла, что ей больше не нужно нажимать на педаль. Стоило зверьку представить, что он это делает, как нейроны начинали генерировать такой паттерн импульсной активности, который наш интерфейс мозг-машина воспринимал как двигательную команду к опусканию рычага. В общей сложности это задание успешно освоили 4 из 6 крыс. Они поняли, что им нужно лишь «продумать» действие. И никакой мистики в этом нет: вы тоже можете мысленно представить, как ваша рука тянется к какому-нибудь предмету. Точно так же и человек с травмированной или ампутированной конечностью смог бы управлять движениями руки робота, соединенной с его плечом.

ОБЗОР: ИНТЕРФЕЙСЫ МОЗГ-МАШИНА

- Крысы и обезьяны, чей головной мозг был соединен проводами с компьютером, успешно управляли рычагом или рукой робота, просто представляя себе, как их собственная конечность нажимает на педаль или совершает движения.
- Эти «трюки» стали возможными благодаря созданию нового поколения микроэлектродов для вживления в моторную кору животных и разработке алгоритмов, преобразующих электрическую активность нейронов головного мозга в команды, способные управлять механическими устройствами.
- Создание сложных интерфейсов мозг-машина для человека – дело далекого будущего, но технологические разработки, в конце концов, позволят людям, лишившимся руки, управлять рукой робота одним усилием мысли, а больным с травмой спинного мозга – вновь обрести контроль над парализованной конечностью.

Заглядывая в будущее

КОГДА-НИБУДЬ интерфейс мозг-машина сможет помочь больному, чьи конечности оказались парализованными в результате травмы спинного мозга. Крошечные пучки микроэлектродов, имплантированных в различные моторные зоны коры головного мозга, будут соединены с нейрочипом в черепе. Когда больной представит себе, как движется его парализованная рука, чтобы, к примеру, взять со стола яблоко, нейрочип преобразует его мысли в последовательность радиочастотных сигналов и без помощи проводов передаст их небольшому, работающему на батарейках «компьютеру-рюкзак», размещенному за спинкой кресла.

Компьютер преобразует эти сигналы в двигательные команды и передаст их (снова без помощи проводов) другому микрочипу, имплантированному в руку больного. Этот микрочип сможет стимулировать нервы, которые заставят мышцы руки совершить требуемое движение. «Компьютер-рюкзак» сможет управлять также двигателем и тормозной системой кресла-каталки, стоит только больному мысленно представить себе, куда он хочет на нем доехать. Кроме того, компьютер сможет передать сигналы установленной на кресле руке робота.



Головной мозг обезьяны управляет движениями руки робота

Успехи подопытных крыс вдохновили нас. Мы решили пойти дальше – заставить руку робота воспроизвести «трехмерные» движения, совершаемые конечностью обезьяны – животного, чей головной мозг имеет гораздо большее сходство с человеческим, чем крысиный.

В это время один из авторов статьи (М. Николеллис) создал собственную нейрофизиологическую лабораторию в Университете Дьюка. Там мы и сконструировали интерфейс, позволяющий одновременно регистрировать активность до 100 нейронов в лобных и теменных долях коры. Сначала мы испытали его работу на нескольких обезьянках дурукули. Выбор пал на этих животных потому, что моторные зоны представлены у них гладким поверхностным слоем коры, что значительно облегчает вживление микроэлектродов в мозг.

В своих первых экспериментах мы обучали обезьян (в том числе и Бель) двигать джойстик влево и вправо в ответ на появление света в левой или правой частях экрана. Через некоторое время мы усаживали их в кресла перед непрозрачной перегородкой. Когда она поднималась, обезьяны видели перед собой лежащий на подносе фрукт. Животные должны были протянуть руку, взять его, поднести ко рту и вернуть руку в исходное положение.

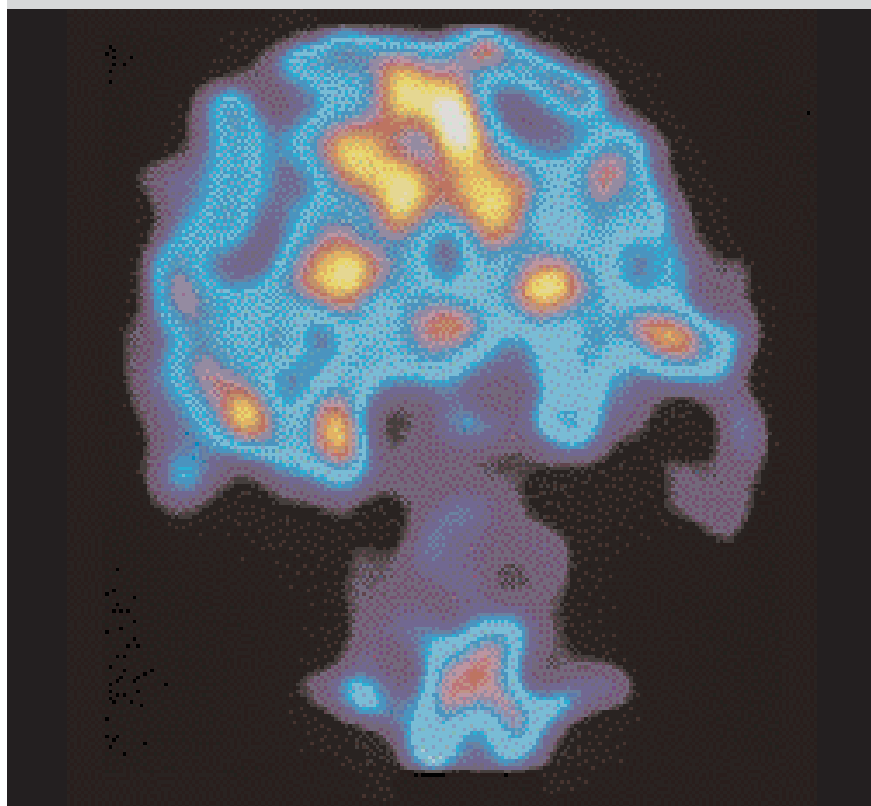
Положение руки животного можно было точно предсказать за несколько сотен миллисекунд на основании простого суммирования электрической активности моторных нейронов коры. Это открытие было сделано Йоханом Вессбергом (Johan Wessberg), ныне работающим в Гетенборгском университете в Швеции. Главная хитрость заключалась в том, что для наиболее эффективного предсказания движений в реальном времени компьютер должен был непрерывно суммировать активность, генерируемую нейронами за секунду до совершения животным этих движений.

Блокада судорог

Как показали недавние исследования, в будущем интерфейсы мозг-машина позволят предотвращать судорожную активность головного мозга у больных, страдающих тяжелыми формами хронической эпилепсии. Судорожные припадки в этом случае могут развиваться по несколько десятков раз в день, что делает жизнь больного невыносимой и может привести к тяжелому поражению мозга. Что еще хуже, больные, как правило, становятся толерантными к традиционной медикаментозной терапии.

Для предотвращения судорог ИММ будет функционировать наподобие водителя сердечного ритма (пейсмекера). Он будет постоянно следить за электрической активностью головного мозга и выявлять паттерны, свидетельствующие о приближении припадка. Если ИММ выявит такой сигнал, он передаст в мозг или периферическому нерву электрическое раздражение, которое подавит развитие припадка или стимулирует высвобождение противосудорожного лекарства.

В Университете Дьюка мы обосновали возможность такого подхода. ИММ обеспечивали микроэлектроды, вживленные в мозг крыс, которым вводился пентилентетразол – препарат, вызывающий повторные эпилептические припадки средней тяжести. Развитие припадка сопровождается высоко синхронными вспышками активности корковых нейронов. Когда «мозговой пейсмекер» выявлял такой паттерн активности, он запускал электрическую стимуляцию одной из ветвей тройничного нерва – большого небного нерва. Короткий стимул быстро и эффективно, не повреждая нерв, прерывал эпилептическую активность и снижал частоту развития и длительность судорог.



Головной мозг во время эпилептического припадка. Желтым выделены зоны повышенной активности мозга. Изображение получено с помощью позитронно-эмиссионной томографии.

Затем, в самый разгар исследований, мы приобрели более совершенную модель «ящичка Харви». С помощью этого устройства и нескольких, специально разработанных алгоритмов реального времени наш компьютер производил выборки и интегрировал каждые 50–100 миллисекунд потенциалы действия нейронов. Компьютерные программы преобразовывали выход в инструкции, способные направлять движения руки робота в трехмерном пространстве. Затем мы использовали интерфейс мозг-машина для управления роботом. Когда в один из тех незабываемых дней 2000 года мы наблюдали за тем, как многозвенная рука робота повторяет жесты Бель, нам едва верилось в реальность происходящего. Ведь из десятков миллионов нейронов головного мозга работу руки осуществляли всего-навсего 50–100 наугад выбранных нами нервных клеток!

Последующий математический анализ показал, что точность движений робота приблизительно пропорциональна числу регистрируемых нейронов, но с увеличением их числа эта линейная зависимость начинала сходиться на нет. Выборка из 100 нейронов позволяла нам создавать траектории движений робота, совпадавшие с траекториями руки обезьяны примерно на 70%. Как показал последующий анализ, для 95% точности достаточна выборка всего из 500–700 нейронов (в зависимости от того, в какой области мозга находятся нервные клетки). В настоящее время мы пытаемся определить число нейронов, необходимое для воспроизведения движений в трех плоскостях. Подозреваем, что и в этом случае счет пойдет на сотни, а не на тысячи нейронов.

Полученные результаты указывают на то, что в пределах каждой корковой области «нервная команда» имеет диффузную локализацию. Животному такая «децентрализация» очень выгодна: в случае травмы у головного мозга имеется огромный запас резервных элементов. А для исследователей это означает,

что работу нейропротеза, основанного на ИММ и предназначенного для парализованных больных, могут обеспечить гораздо меньшие популяции нейронов, чем предполагалось прежде.

Эксперименты с Бель и с другими животными показали, что, по мере того как они все лучше справлялись с заданием, свойства их нейронов изменялись – иногда через несколько дней, а иногда и в ходе двухчасового эксперимента. Чтобы приспособиться к такому «моторному обучению», мы дополнили нашу модель простой программой, позволившей периодически переоценивать вклад каждого нейрона. Нервные клетки, перестававшие играть значимую роль, исключались из модели, а нейроны с более выраженной активностью вводились в нее. По сути дела, мы научились «вычлениать» из головного мозга нервный выход, определяющий траекторию движения руки.

Важно отметить, что постепенное изменение характера нейронной активности расширяет пластические возможности головного мозга. Количество потенциалов действия, генерируемое нейроном перед данным движением руки, изменяется по мере того, как совершенствуются навыки животного в экспериментальной ситуации. И все же динамичное изменение свойств нейронов не составляет помехи для практического использования интерфейсов мозг-машина. Одно из преимуществ диффузного нейронного выхода заключается в том, что он не зависит от функционирования какой-либо небольшой группы нейронов. Если ИММ может поддерживать надежную регистрацию активности сотен и даже тысяч одиночных нейронов в течение нескольких месяцев и даже лет и использовать модели, способные к обучению, он легко «приспособится» к изменению свойств нейронов, гибели нервных клеток и даже к ухудшению качества регистрации нейронной активности микроэлектродами.

Использование сенсорной обратной связи

Эксперименты с участием Бель доказали, что ИММ может «сотрудничать» с головным мозгом примитивных приматов. Но можно ли приспособить его для работы с более сложным мозгом? Чтобы ответить на этот вопрос, в мае 2001 г. мы начали серию экспериментов с участием трех макаков. Поверхность головного мозга этих обезьян покрыта глубокими бороздами и извилинами, напоминающими мозг человека.

В исследовании применялся такой же ИММ, что и в экспериментах с Бель, но с одним существенным дополнением: теперь, используя зрительную обратную связь, обезьяны сами могли судить о том, насколько точно ИММ воспроизводит движения их рук. Произвольно двигая джойстик в разных направлениях, животные могли изменять положение курсора на экране компьютера. Внезапно в каком-либо месте экрана появлялась круглая мишень. Для того чтобы получить глоток фруктового сока, обезьяна должна была быстрым движением джойстика (в пределах 0,5 секунды) «попасть» курсором в мишень.

Первой успешно справилась с этим заданием изящная самка по кличке Аврора, которая с явным удовольствием демонстрировала свое умение ловко «поражать цель». Сотрудники нашей лаборатории Рой Крист (Roy Crist) и Хосе Кармена (Jose Carmena) в течение года регистрировали активность до 92 нейронов в пяти лобных и теменных областях коры этой обезьянки.

Когда Аврора полностью освоила «игру», мы решили подшутить над ней. Примерно в 30% испытаний мы прерывали связь между джойстиком и курсором. Отныне обезьяна должна была полагаться исключительно на активность своего мозга, анализируемую ИММ. Какое-то время Аврора еще продолжала совершать движения руками, но через несколько дней поняла, что может полностью регулировать положение курсора мозгом. Через несколько недель, в течение

которых ежедневно проводились испытания, обезьяна вообще перестала утруждать себя: она перемещала курсор, просто мысленно «прочерчивая» его траекторию на экране.

Но и это не все. Поскольку Аврора могла следить за ходом выполнения ею задания с помощью экрана, предсказания интерфейс мозг-машина становились все более точными – даже в тех случаях, когда регистрировалась активность одних и тех же нейронов. Зрительная обратная связь помогла Авроре максимизировать реакцию ИММ на обучение как мозга, так и машины. А если так, то зрительная или какая-либо иная сенсорная обратная связь позволит людям улучшать функционирование своих собственных интерфейсов мозг-машина.

Когда мы писали эту статью, прошел год, как в головной мозг Авроры были вживлены микроэлектроды; с тех пор мы ежедневно регистрируем активность 60–70 нейронов. А это означает, что наша конструкция микроэлектродов способна обеспечить длительное, высококачественное многоканальное отведение электрических сигналов даже у приматов со «складчатой» поверхностью коры. Хотя за минувший год популяция регистрируемых нейронов (состоявшая из 92) несколько уменьшилась, «сотрудничество» обезьянки с ИММ остается на самом высоком уровне.

Мы собираемся предложить Авроре более сложные задания. В мае 2002 г. мы приступили к модификации интерфейса мозг-машина для подготовки новой серии опытов с использованием тактильной обратной связи. ИММ будет управлять рукой робота, снабженной механизмом захвата, имитирующим кисть. Силовые датчики сообщат о том, что рука робота соприкоснулась с предметом и определят силу, необходимую для его удержания. Вживление под кожу небольших вибраторов обеспечит тактильную обратную связь, благодаря которой Аврора сможет узнать, насколько предмет тяжел, скользок и т. д. ▶

По изменению частоты вибраций обезьянка сможет судить о том, какая сила потребуется руке робота, чтобы, к примеру, поднять кусочек фрукта, удержать его на весу и донести до рта. Такой эксперимент стал бы самым убедительным доказательством того, что даже тяжело парализованный человек вполне может вернуть себе

ной мозг животного включит руку робота в «представительства» тела, можно ожидать, что то же самое сможет сделать и мозг парализованного человека.

Головной мозг очень пластичен. Но всему есть предел. Маловероятно, например, что человек, перенесший тяжелый инсульт, сможет обрести полный контроль над функциониру-

ющих осложнений, требуют проверки клиническими испытаниями.

Исследователям необходимо выяснить, смогут ли мультиэлектроды обеспечить надежную регистрацию нейронной активности, не вызывая повреждений нервной ткани и риска инфекции. Намечилась тенденция к созданию плотных мультиэлектродов.

Наша главная цель – дать возможность людям, парализованным в результате неврологических расстройств или травм спинного мозга, манипулировать креслами-каталками или механическими конечностями. Когда-нибудь исследователи помогут таким больным вновь обрести способность управлять собственными руками и ногами посредством беспроводной связи между имплантатами в головном мозге и конечностях.

способность двигать конечностями благодаря вживленному в мозг имплантату, соединенному (проводами или без них) с генераторами сигналов в руке или ноге.

Если зрительные и тактильные ощущения имитируют информацию, которой обычно обмениваются рука Авроры с головным мозгом, то долгосрочное взаимодействие с ИММ сможет, по-видимому, «побудить» головной мозг включить робота в свои «представительства». Иными словами, не исключено, что мозг приобретет способность воспринимать искусственное устройство как еще одну часть тела, а нервная ткань мозга сможет обслуживать руку робота.

Для проверки этой гипотезы мы проведем новую серию экспериментов, подобных тем, в которых участвовала Аврора, с той лишь разницей, что рука подопытного животного будет анестезирована, чтобы блокировать передачу любой естественной информации по принципу обратной связи. Если голов-

нием робота. Как правило, поражения мозга при такой болезни имеют обширный характер и затрагивают большую массу белого вещества (состоящего из нервных волокон, связывающих друг с другом отдельные области мозга), а это приводит к сильному снижению пластичности. Вот почему жертвы инсульта, утратившие способность двигать неповрежденными конечностями, обретают ее вновь довольно редко.

Оценка реальных возможностей

Какими бы обнадеживающими ни казались достижения нейрофизиологии, ученые не имеют права давать людям пустых обещаний. Предстоит еще преодолеть множество трудностей, пока интерфейсы мозг-машина по праву будут считаться безопасным, надежным и эффективным терапевтическим средством. Способность ИММ улучшать состояние больных, не подвергая их риску других неврологиче-

Гэри Лихью (Gary LeHew), инженер-электронщик из Университета Дьюка, разработал способы, значительно увеличивающие число микроэлектродов в легком пучке, имплантация которого в мозг не представляет особых сложностей. Сегодня мы можем вживлять множественные пучки; каждый, размером с ноготь мизинца (5x8 мм), содержит до 160 микроэлектродов. Недавно мы вживили в восемь корковых зон макаки в общей сложности 704 микроэлектроды и одновременно регистрировали активность 318 нейронов.

Мы уже начали разрабатывать имплантируемые микроэлектронные устройства, благодаря которым для распознавания паттернов нейронной активности более не потребуются программы, что в конце концов освободит ИММ от «компьютерного бремени». Совместно с Лабораторией Патрика Вульфа из Университета Дьюка мы создали первый беспроводный нейрочип и испытали его функционирование на обезьянке Авроре. Вспыш-

ки нейронных импульсов на экране монитора, расположенного на расстоянии многих метров от обезьяны – впервые транслируемые посредством беспроводного соединения между головным мозгом примата и компьютером! – заставили нас поволноваться.

Все больше ученых начинают понимать, какую колоссальную помощь могут оказать интерфейсы мозг-машина людям, попавшим в беду. В прошлом году нейропротезами стали заниматься несколько неврологических лабораторий традиционного направления. Предварительные результаты исследований недавно были получены в Университете штата Аризона, Университете Брауна и Калифорнийском технологическом институте. Некоторые исследования подтверждаются данными, полученными нами в результате опытов на крысах и обезьянах. Ученые из Университета штата Аризона в общих чертах воспроизвели наш метод изучения «трехмерных» движений у обезьян дурукули и показали, что его с успехом можно применять и на резусах. В экспериментах, проведенных в Университете Брауна, макак резус должен был перемещать курсор по экрану монитора. Обе группы ученых регистрировали у каждого животного по 10–20 нейронов. Успех их исследований – наглядное подтверждение тому, насколько быстро развивается эта новая область науки.

В наиболее эффективных в практическом плане интерфейсах мозг-машина будет использоваться одновременная регистрация от нескольких сотен до нескольких тысяч одиночных нейронов, расположенных в многочисленных двигательных зонах лобных и теменных долей. Какой-либо клинической пользы от интерфейсов, основанных на регистрации небольшого числа (30 и менее) нейронов в одной корковой области, ждать не приходится: им будет недоставать «резервной мощности», требующейся для адаптации системы к гибели нервных клеток или изменению

их реактивности. Скорее всего, бесполезной станет и другая крайность – регистрация миллионов нейронов с помощью макроэлектродов: такая процедура может оказаться слишком инвазивной.

Неинвазивные методы, обещающие дать неплохие результаты в некоторых областях медицины, найдут, вероятно, ограниченное применение и для управления протезом с помощью мысли. Отведение электрической активности с поверхности головы, получившее название электроэнцефалографии (ЭЭГ), – метод, способный обеспечить функционирование ИММ иного рода. Нильс Бирбаумер (Niels Birbaumer) из Тюбингенского института в Германии с успехом использовал ЭЭГ и компьютерный интерфейс для обучения парализованных больных регулированию своей ЭЭГ-активности таким образом, чтобы можно было выбирать на экране компьютера нужные буквы и затем составлять из них сообщения. Хотя этот процесс требует много времени, он дает таким больным единственную возможность общаться с окружающим миром. И все-таки ЭЭГ-сигналы не могут непосредственно использоваться для управления протезами конечностей: они отражают некую усредненную электрическую активность очень широкой популяции нейронов; из них трудно вычленивать тончайшие колебания электрической активно-

сти, необходимые для кодирования точных движений руки.

Несмотря на предстоящие трудности, у нас есть все основания смотреть в будущее с оптимизмом. Не исключено, что первый человеческий нейропротез начнет функционировать только через десятилетие. Но перед глазами до сих пор стоят фантастические возможности, впервые ошеломившие нас в тот памятный день в Дареме, когда экран компьютера светился яркими вспышками нейронной активности Бель. Мы навсегда сохраним то благоговейное чувство, с каким «подсматривали» за процессом рождения мысли в головном мозге обезьянки. Бель думала всего лишь о том, как бы ей заполучить сок, но даже эта немудреная мысль смогла отдать приказ окружающему миру и помогла обезьянке добиться вполне реальной цели. ■

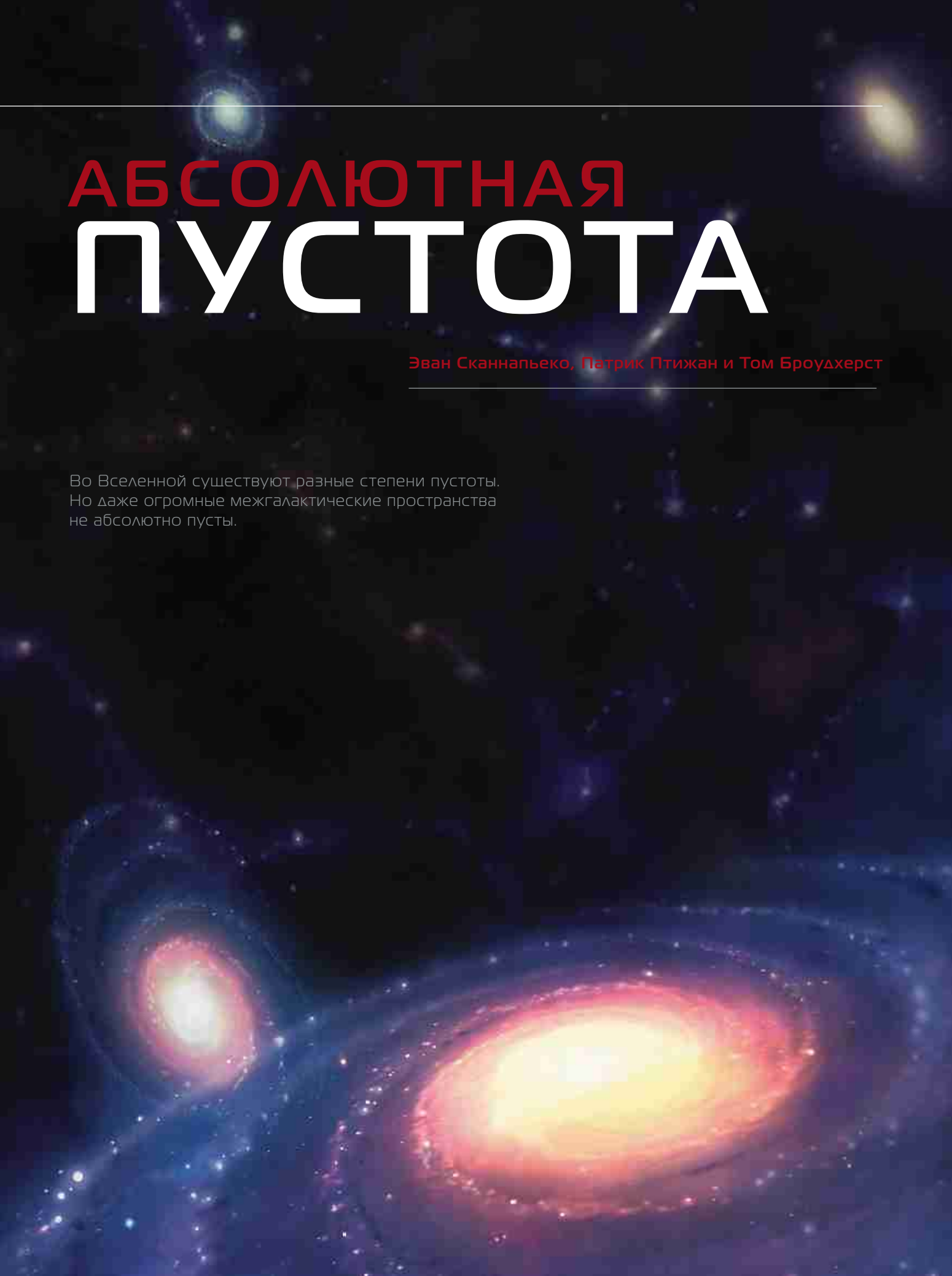
ОБ АВТОРАХ

Мигель Николеллис (Miguel A. L. Nicolelis) и **Джон Чэпин** (John K. Chapin) сотрудничают уже более десяти лет. М. Николеллис родился в Бразилии и получил степени доктора медицины и доктора философии в области нейрофизиологии в Университете Сан-Паулу. Сегодня он один из директоров Центра нейротехнологии и профессор нейробиологии, биомедицинской технологии и нейропсихологии в Университете Дьюка. Дж. Чэпин получил степень доктора философии в области нейрофизиологии в Рочестерском университете, а затем работал в Университете Техаса и Медицинской школе при Университете Ханеманна (ныне Медицинский колледж Университета Дрейселя). В настоящее время – профессор физиологии и фармакологии в Медицинском центре Даунстейт Университета штата Нью-Йорк.

АБСОЛЮТНАЯ ПУСТОТА

Эван Сканнапьеко, Патрик Птижан и Том Броудхерст

Во Вселенной существуют разные степени пустоты. Но даже огромные межгалактические пространства не абсолютно пусты.



Полет за пределы Млечного Пути – это путешествие в самые пустынные пространства, которые только можно вообразить. Здесь плотность газа составляет около одного атома в кубическом сантиметре, а свет ближайших звезд доходит до нас оттуда годами.

Однако мы устремляемся в еще более пустынные места. Ближе к самым дальним областям галактического диска, межзвездные расстояния увеличиваются до десятков и далее – до сотен световых лет, а плотность межзвездного газа уменьшается в сотни раз. Выйдя же за пределы Галактики в черноту огромных межгалактических пространств, мы попадаем в зоны, где плотность газа становится ничтожно малой: $\sim 10^{-5}$ атомов в 1 куб. метре.

До недавнего времени астрономы не уделяли межгалактическому пространству большого внимания. Зачем думать о редко разбросанных атомах, когда во Вселенной есть множество богато структурированных планет, ярких галактик и прожорливых черных дыр?

Сегодня такая ситуация начинает меняться. Выясняется, что межгалактическая среда (МГС) – отнюдь не тихая заводь, а главная арена космической эволюции, предшествующая галактикам. На ранних этапах развития вся материя представляла собой всепроникающий горячий газ. В результате расширения Вселенной он охладился и сгустился в мириады галактик, которые мы сегодня наблюдаем. А оставшееся пространство стало еще более разреженным.

Это обнаружилось в последние десятилетия. Ранее ученые полагали, что подробности строения межгалактического газа не имеют значения и что формирование галактик определялось

исключительно гравитационными силами. Преобладало мнение, что, когда МГС охладилась и из горячего ионизованного состояния превратилась в более холодную смесь нейтральных атомов водорода и гелия, она перестала оказывать заметное сопротивление гравитационным силам. Области с более высокой плотностью перетягивали к себе вещество, еще сильнее обедняя более разреженные пространства. (Этот процесс продолжается и по сей день.) Согласно этим представлениям, плотность, месторасположение и размеры галактик и более крупных структур зависят только от случайного первоначального распределения масс.

Однако чем больше свойств межгалактического газа открывали астрономы, тем больше их наблюдения противоречили этой простой теории. Ученые обнаружили, что межгалактическая среда имеет сложную историю, в процессе которой произошло несколько важных превращений, тесно связанных с формированием структур. Выяснилось, что эти наиболее разреженные материалы образовали огромную сетку газовых слоев и волокон, протянувшихся, подобно паутине, между галактиками.

Сегодня интерес к межгалактической среде возрастает, проводится много исследований. Однако изучать то, что едва лишь можно увидеть, не так-то просто. Подобно сыщикам, астрономы собирают косвенные свидетельства и тщательно систематизиру-

ют их, чтобы реконструировать историю газа в межгалактическом пространстве.

«Лес» спектральных линий

Эти косвенные свидетельства вытекают из четырех видов наблюдений: фонового микроволнового (реликтового) излучения, спектров квазаров, рентгеновского излучения скоплений галактик и измерений магнитных полей. Реликтовое излучение дает «мгновенный снимок» межгалактической среды во время ее перехода из ионизованного состояния в нейтральное примерно через 300 000 лет после Большого взрыва, когда температура газа снизилась до нескольких тысяч кельвинов. Пространственная структура этого излучения служит отправной точкой для всех моделей МГС.



Второе подтверждение – квазары. Предполагается, что источником энергии их излучения служат сверхмассивные черные дыры. Будучи исключительно яркими объектами, квазары, подобно маякам, освещают узкие зоны межгалактического пространства. Вещество, заключенное между нами и квазаром, поглощает свет на определенных длинах волн, оставляя в спектре квазара свои «отпечатки пальцев». Интерпретация таких спектров требует осторожности. Они содержат линии, отсутствующие в спектрах всех известных веществ. Предполагается, что причина – в расширении Вселенной, в результате которого длина световых волн увеличивается – возникает так называемое красное смещение спектральных линий. Чем дальше от нас расположен источник излучения, тем больше расширилась Вселенная с того момента, когда свет начал свое путешествие, и тем больше красное смещение.

Впервые спектр квазара наблюдался в середине 1960-х гг., но только к концу 70-х детекторы достигли чувствительности, позволяющей получать спектры высокого качества. Алек Боксенберг (Alec Voxenberg), работавший тогда в Лондонском университетском колледже, и Уоллес Сарджент (Wallace L. W. Sargent) из Калифорнийского технологического института установили, что каждый спектр содержит сотни линий поглощения. На графике он выглядит, как густая чаща линий, поэтому астрономы и назвали это явление «лес линий Лайман-альфа», имея в виду, что наблюдаемые линии порождаются линией La

лаймановской серии излучения нейтрального водорода. Большое число этих линий свидетельствует, что в пространстве между нами и квазаром существуют сотни газовых облаков, находящихся на разных расстояниях от нас и потому имеющих различные красные смещения.

Хотя эти линии и тесно связаны с нейтральным водородом, он может составлять лишь небольшую долю вещества газовых облаков. Остальную их часть компенсируют ионизированный водород и гелий. Дело в том, что нейтральный газ поглощает излучение в некотором интервале длин волн, поскольку хаотическое тепловое движение атомов вызывает дополнительные смещения в спектре, приводя к уширению математически идеальных спектральных линий, превращающихся в полосы заметной ширины. В 1965 г. Джеймс Ганн (James E. Gunn) и Брюс Питерсон (Bruce A. Peterson) из Калифорнийского технологического института показали, что если доля нейтрального компонента межгалактической среды достаточно велика (больше одной миллионной), то уширение должно привести к перекрытию спектральных линий от разных облаков. Так что вместо леса должен был бы наблюдаться широкий сплошной провал.

Таким образом, сам факт наличия «леса линий Лайман-альфа» говорит о том, что холодная нейтральная МГС, необходимая для формирования галактик под действием только гравитационных сил, существовала сравнительно недолго. Что-то должно было вновь ионизовать газ до того, как сформировались

квазары. Недавнее поразительное открытие касается одного из наиболее далеких и древних квазаров, обнаруженного в ходе Слоуновского цифрового обзора неба и получившего обозначение SDSSJ103027.10+052455.0. В 2001 г. в его спектре Роберт Беккер (Robert H. Becker) из Калифорнийского университета и его коллеги обнаружили протяженную область La-поглощения. Возможно, это стало первым наблюдением провала, предсказанного Ганном и Питерсоном. И этот провал может оказаться следом периода, когда еще шла повторная ионизация МГС.

Спектры квазаров не только говорят нам о плотности и степени ионизации МГС, но и позволяют судить о распределении вещества в пространстве. В сущности, каждый такой спектр характеризует некий космический «кern» – узкий пространственный канал, протянувшийся от квазара до нас. Сравнивая эти «кernы» друг с другом и с результатами компьютерного моделирования формирования структур, астрономы пытаются реконструировать пространственное распределение вещества во всех трех измерениях. Помочь в этом может искривление лучей гравитационным полем массивных тел, находящихся между квазаром и нами. Это искривление позволяет получить спектры для двух «кernов», расположенных ближе друг к другу, чем это мог бы позволить слепой случай. Майкл Роч (Michael Rauch) из Обсерватории Карнеги в Пасадине (штат Калифорния), Уоллес Сарджент и Томас Барлоу (Thomas A. Barlow) из Калифорнийского технологического института использовали это обстоятельство для изучения движения газа в МГС. Они установили: хотя большая часть среды находится в покое, наиболее плотные ее участки периодически подвергались перемешиванию в результате высокоэнергетических событий, происходивших примерно раз в 100 млн лет.

Исследования линий поглощения позволили за последние семь лет обнаружить не только нейтральный водород, но и небольшое количество более тяжелых элементов. Первым из

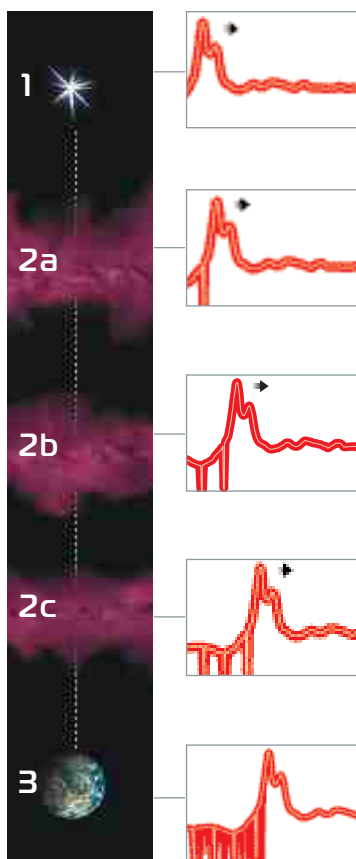
ОБЗОР: МЕЖГАЛАКТИЧЕСКАЯ СРЕДА

- Околоземное пространство, в котором путешествуют космонавты, по земным понятиям – почти полный вакуум. Однако плотность вещества в пространстве между галактиками в миллионы раз меньше. До недавних пор ученые сомневались, что в этом разреженном газе может происходить что-то интересное.
- Однако, по данным многочисленных наблюдений, этот газ, называемый межгалактической средой, претерпел как минимум три разительных превращения. Они оказали большое влияние на формирование галактик и других космических структур.

При всей своей разреженности межгалактический газ проявляет себя искажением спектров излучения других объектов, в частности – квазаров, самых мощных объектов в известной части Вселенной. Действуя подобно фильтру, он поглощает излучение

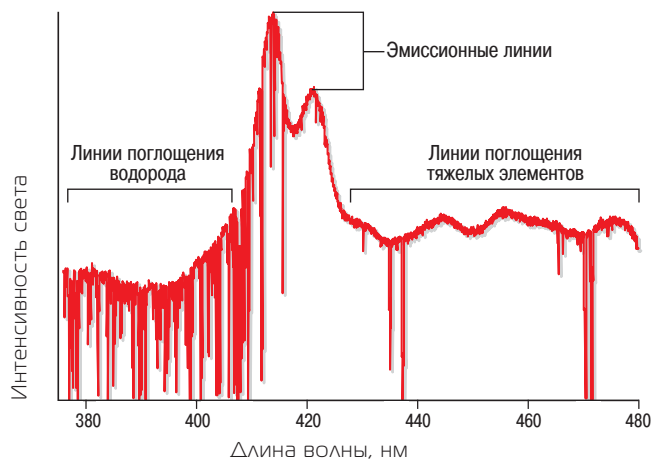
1. Свет начинает свое путешествие, имея довольно гладкий спектр (красная кривая), максимум которого приходится на длину волны 122 нм (линия **La**).

2. В процессе движения этого света к Земле его спектр изменяется под влиянием двух процессов: расширение Вселенной сдвигает его в сторону более длинных волн, а каждое водородное облако «откусывает» от него небольшую часть, образуя узкий провал. Каждый такой провал является новой спектральной линией с длиной волны 122 нм, которая впоследствии смещается вместе со всей остальной частью спектра.



с некоторыми длинами волн, но свободно пропускает остальные. Возникает ряд линий поглощения (узких провалов) в спектрах квазаров. Типичный спектр содержит так много этих линий, что астрономы назвали их «лес линий Лайман-альфа».

3. К моменту, когда свет достигает Земли, спектр оказывается сильно искаженным – в нем появляются сотни линий водорода и даже линии некоторых более тяжелых элементов. В представленном здесь спектре квазара HE 1122-1628 первоначальный максимум смещен со 122 нм к 414 нм. Это смещение характеризует расстояние до квазара.



них был ионизированный углерод с его характерным дублетом линий поглощения, расположенных в спектре близ линии **La**. За ним были обнаружены магний и кислород. Внутри галактик атомы этих элементов часто объединяются в весьма крупные молекулы – «пылевые частицы», которые вызывают «межзвездное покраснение света», поглощая в основном голубые лучи проходящего излучения. В **La**-облаках такого покраснения не наблюдается, а это значит, что тяжелые элементы остаются там в атомарном состоянии с концентрацией около одного атома на миллион атомов водорода. Это определенно указывает на то, что МГС – не просто остатки вещества, из которого сформировались галактики. Элементы, синтезированные в звездах, каким-то

образом попали из галактик в межгалактическую среду.

Зародыши строительства

Кроме реликтового излучения и квазаров, спектры которых позволяют исследовать крайне разреженные облака, расположенные на огромных расстояниях от нашей Галактики и, следовательно, видимые в состояниях, соответствующих намного более ранним периодам истории Вселенной, третий тип наблюдений позволяет исследовать нечто противоположное – плотные скопления газа в сравнительно близких областях Вселенной. Этот газ находится в самых крупных структурах, связанных гравитационными силами – в массивных скоплениях галактик. Термин «скопление галактик» не совсем точно передает суть понятия:

эти структуры состоят в основном из горячей плазмы, в которой галактики рассеяны, подобно семечкам в арбузе. Ионизованный газ (не что иное, как сгущенная межгалактическая среда) разогрет до нескольких миллионов кельвинов и поэтому интенсивно излучает в рентгеновской области. Рентгеновская обсерватория им. Чандра и рентгеновский многозеркальный телескоп намного расширили наши возможности в исследованиях этого газа.

Традиционно считается, что газ в скоплениях галактик был разогрет исключительно в результате гравитационного сжатия. Если так, то его температура должна быть связана с его массой и плотностью, а следовательно – с его светимостью: она должна быть пропорциональна квадрату температуры. Однако наблюдения показывают, ▶

ЧЕТЫРЕ СПОСОБА УВИДЕТЬ НЕВИДИМОЕ

Межгалактический газ почти невидим, поэтому астрономам изучать его сложно. Им приходится выступать в роли космических детективов, воссоздавая историю этого газа на основании четырех видов косвенных наблюдений.

1 Данные о реликтовом излучении рассказывают о состоянии межгалактической среды на раннем этапе космической истории, когда газ был сравнительно плотным и однородным.

2 Спектры квазаров дают сведения об облаках межгалактического газа в промежуточные времена, когда из вещества формировались космические структуры.

3 Рентгеновские спектры характеризуют состояние межгалактического газа в сравнительно недавнем прошлом, в частности, собранного в огромных скоплениях галактик.

4 Магнитные измерения с помощью радиотелескопов показывают, что межгалактический газ намагничен, хотя причины этого пока не вполне понятны.



что светимость этого газа пропорциональна температуре в степени 3,5. Это также свидетельствует о том, что МГС была областью некой активности, которой до недавнего времени не ожидали.

Четвертый вид наблюдений – магнитные измерения – касается наименее изученного, но очень важного свойства МГС – ее магнитной структуры. Проходя через намагниченную среду, электроны излучают радиоволны. Это радиоизлучение поляризовано в направлении вектора магнитного поля. К сожалению, из-за малой плотности межгалактического газа сигнал получается очень слабым. В 1989 г. Кванг Тае Ким (Kwang-Tae Kim) и Филипп Кронберг (Philipp P. Kronberg), работавшие тогда в Торонтском университете, обнаружили диффузный «мост» намагниченного вещества, соединяющий два скопления галактик. Но эти измерения не были распространены на самые далекие области известной Вселенной. Астрономы полагались в основном на свидетельства, получаемые от крупных галактик, а также их скоплений. В большинстве спиральных галактик существуют магнитные поля, достаточно сильные для того, чтобы влиять на формирование и вращение галактик. Упорядоченные структуры галактик свидетельствуют, что «зародышевое» магнитное поле существовало еще до возникновения галактики и усиливалось по мере ее формирования. Более крупномасштабные исследования радиоизлучения выявили существование разреженного намагниченного газа в нескольких сравнительно близких скоплениях галактик, а это ясно говорит о том, что намагничена вся МГС.

Использование скачка в спектре

Все эти свидетельства, несмотря на их неполноту, указывают на то, что межгалактическая среда в ходе своей истории претерпела не менее трех радикальных изменений. Наиболее изучено первое из них – переход из ионизованного состояния в нейтральное. Это превращение, известное как рекомбинация, связано с моментом рождения реликтового излучения.

Второй переход – из нейтрального состояния обратно в ионизованное – понятен гораздо меньше. Повторная ионизация могла быть вызвана квазарами, звездами в первых галактиках и даже, возможно, пока не обнаруженной популяцией массивных звезд, равномерно распределенных в пространстве (смотрите статью «Первые звезды Вселенной» в пилотном номере журнала «В мире науки», 2002 г.). Хотя этот переход, по-видимому, мало повлиял на формирование массивных галактик, он мог вызвать достаточное тепловое давление для того, чтобы помешать образованию более мелких галактик, усложняя этим простую картину чисто гравитационного формирования структур.

Чтобы определить, какие из источников повторной ионизации сыграли существенную роль, астрономы поочередно изучали каждый из них. Полученные результаты пока не позволяют сделать определенных выводов. Для изучения влияния звезд проводятся исследования так называемых галактик с лаймановским скачком, получивших это название благодаря крутому провалу в их спектре, который обусловлен поглощением излучения звезд нейтральным водородом. У достаточно удаленных галактик этот скачок из своего обычного положения в ультрафиолетовой области спектра передвигается в видимую область красным смещением. Находя этот скачок в оптическом спектре, астрономы могут идентифицировать далекие галактики, не прибегая к сложным измерениям красного смещения отдельных спектральных линий. Эта методика, первоначально разработанная Чарлзом Стейделом (Charles C. Steidel) из Калифорнийского технологического института, позволила ученым составить объемистые каталоги далеких галактик, излучение звезд которых могло вызвать повторную ионизацию межгалактического газа. К сожалению, эта методика избирательна: она позволяет обнаруживать лишь наиболее яркие галактики и поэтому не дает возможности оценить полный вклад звезд в повторную ионизацию.

Другой способ основан на изучении распространенности и распределения тяжелых элементов. Если они повсюду обнаруживаются, то первыми объектами могли быть массивные звезды, равномерно распределенные в пространстве. Квазары и карликовые галактики привели бы к более неоднородному распределению элементов. К сожалению, точность измерений слишком низка, чтобы можно было сделать более определенные выводы. На сегодня лучшее, что могут сделать астрономы, это указать пределы пространственного распределения газа. Они делают это, сопоставляя данные исследований спектров квазаров с результатами численного моделирования формирования структуры. Подбирая параметры компьютерных моделей так, чтобы добиться согласия с наблюдаемыми спектрами, ученые сделали более четким наше представление о космической паутине.

Выброс вещества

Третий переход, обусловивший наблюдаемое соотношение между светимостью и температурой газа в скоплениях галактик, – еще более таинственный. В своей работе, опубликованной в 1991 г., Николас Кайзер (Nicolas Kaiser) из Торонтского университета предположил, что газ в скоплениях галактик был нагрет до нескольких миллионов кельвинов задолго до начала гравитационного сжатия. Этот нагрев должен был уменьшить плотность газа, причем больше всего в небольших скоплениях, в которых гравитационные поля слабее. Уменьшение плотности должно было привести к понижению светимости и усилению ее зависимости от температуры, связанной с массой скопления.

Наиболее очевидные причины нагрева межгалактического газа – взрывы сверхновых звезд. Быстрая последовательность таких взрывов выталкивала вещество за пределы галактик, вынося в межгалактическую среду не только энергию, но и тяжелые элементы. Рентгеновские наблюдения показали, что газ в скоплениях галактик действительно обогащен тяжелыми элементами. ▶

Более того, степень этого обогащения почти не зависит от того, насколько старо или молодо скопление галактик. Из этого следует, что обогащение произошло на ранних стадиях образования скопления. А это, в свою очередь, говорит о том, что роль сверхновых велика, поскольку самые массивные звезды из первого поколения, сформировавшегося в галактике, должны взрываться в первые несколько миллионов лет.

Одно из наиболее весомых свидетельств роли сверхновых – прямые наблюдения далеких карликовых галактик, которые из-за слабого гравитационного поля сильнее подвержены разрушению в результате взрывов звезд. Макс Петтини (Max Pettini) из Кембриджского университета, Чарлз Шейпел и Элис Шэйпли (Alice E. Shapley) из Калифорнийского технологического института скомбинировали спектры галактик, снятые в видимом и инфракрасном диапазонах. Видимые спектры содержат две системы линий: линии излучения водорода и линии поглощения тяжелых элементов. Инфракрасные спектры содержат одну систему линий – излучения газовых туманностей, расположенных в пределах галактики. Петтини обнаружил, что эти три системы линий характеризуются различными красными смещениями: у линий тяжелых элементов красные смещения меньше, чем у галактических линий, а у линий водорода – больше. Это означает, что тяжелые элементы движутся относительно центра галактики к нам со скоростью около 300 км/с, тогда как водород движется с той же скоростью в противоположном направлении, от нас.

Это кажется странным и неожиданным. Простейшее объяснение в том, что вещество истекает из галактики – существует космический ветер, дующий во внешнее пространство. Этот поток содержит в себе и тяжелые элементы, и водород. Тяжелые элементы можно увидеть лишь тогда, когда они находятся между нами и основным телом галактики, иначе нет источника излучения, которое они могли бы поглощать. Значит, в спектре должны наблюдаться следы только тех тяжелых элементов, которые движутся от центра галактики по направлению к нам. А для водорода справедливо обратное: чтобы можно было увидеть его линии излучения, он должен двигаться в направлении от центра галактики и при этом находиться по дальнюю от нас сторону. Тогда спектр его излучения будет смещен за пределы области, в которой вещество, расположенное между ним и наблюдателем, сможет поглотить его излучение.

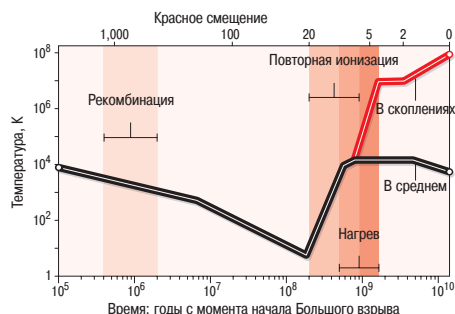
Описанная картина наблюдалась для всех далеких карликовых галактик. Видимо, такое истечение вещества некогда было широко распространено во Вселенной. Астрономы наблюдали также гигантские струи вещества, истекающего из более близких галактик. Особенно ярким примером может служить карликовая галактика NGC 1569, недавно исследованная Кристалом Мартином (Crystal Martin) из Калифорнийского университета. Он установил, что из нее истекает огромное количество кислорода и других тяжелых элементов в виде облаков газа с температурой во многие миллионы кельвинов.

Эти ветры перемешивают наиболее плотные области МГС, намагничивая

громатные пространства, и могут даже препятствовать образованию небольших галактик. Превращения, вызванные этими истекающими потоками, намного существеннее тех, которые были вызваны предшествовавшей повторной ионизацией. Если повторная ионизация могла препятствовать формированию галактик с массами в несколько миллионов масс Солнца, то истекающие потоки способны подавить образование намного более крупных галактик. Учитывая этот процесс мы можем разрешить одно из серьезных противоречий космологии, состоящее в том, что теоретическое моделирование формирования структур предсказывает образование гораздо большего числа малых галактик, чем существует на самом деле.

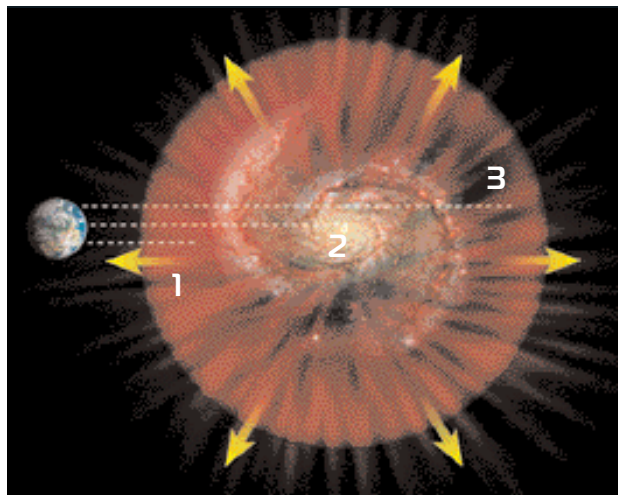
Саморегулирование

Итак, каждое поколение объектов изменяло МГС, что, в свою очередь, и определяло свойства следующего поколения. Источники, вызвавшие повторную ионизацию, создали такое тепловое давление, которое было способно управлять формированием самих этих источников. А выброс вещества из галактик со взрывающимися сверхновыми мог быть достаточно сильным для того, чтобы в зародыше подавить образование других подобных галактик. Аналогичные процессы обратной связи происходят и внутри галактик, где сверхновые и ультрафиолетовое излучение звезд воздействуют на межзвездный газ, из которого формируются звезды следующего поколения. Сегодня концепция обратной связи становится объединяющей идеей в астрономии.



В тепловой истории межгалактической среды прослеживаются три важных превращения. Ясно, что эта среда влияла на формирование космических структур, например, скоплений галактик, а их формирование, в свою очередь, влияло на межгалактическую среду. Наблюдения показывают, что этим превращениям соответствуют определенные красные смещения, из которых можно вывести приблизительные значения времени.

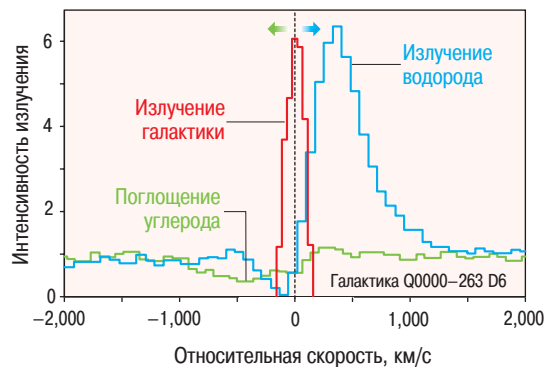
Самое весомое доказательство того, что галактики выбрасывают вещество в межгалактическое пространство, дает изучение спектров галактик. Космический ветер проявляет себя в трех хорошо различимых спектральных линиях, характеризующих ближнюю к нам (1), центральную (2) и наиболее удаленную от нас (3) области галактики. Две из этих линий – пики излучения, а третья – провал, соответствующий поглощению.



1. Прежде чем галактика достигает Земли, ее излучение проходит через облака тяжелых элементов (в частности, углерода), поглощающих излучение с определенными длинами волн. Вещество в этих облаках движется по направлению к нам, что вызывает смещение линий поглощения, соответствующее скоростям, отрицательным по отношению к скорости движения галактики.

2. Туманность в самой галактике испускает инфракрасное излучение, длина волны которого служит точкой отсчета.

3. Водород на дальней от нас стороне галактики испускает излучение. Удаление этого газа от центра галактики вызывает смещение линий его излучения, соответствующее положительным скоростям по отношению к галактике. Это позволяет излучению водорода проходить через галактику, не поглощаясь.



Все четыре вида наблюдений постоянно совершенствуются с помощью новых методов, а результаты продолжают пополняться новыми данными. Так, приборы для наблюдения реликтового излучения стали достаточно чувствительными, чтобы можно было увидеть небольшое размытие, вызываемое межгалактической средой. Неоднородности, возникшие в ходе повторной ионизации, должны вызывать рассеяние квантов микроволнового излучения, а горячие области МГС, например, скопления галактик, должны вносить дополнительные искажения. Этот эффект Сюняева-Зельдовича уже изучался на примере некоторых скоплений галактик, и его воздействие было, по видимому, обнаружено в ходе эксперимента по исследованию космического фона, проведенного летом 2002 г.

Для наблюдения линий поглощения в спектрах квазаров Кеннет Сембах (Kenneth R. Sembach) из Института космического телескопа, Блэр Саваж (Blair Savage) и Барт Уоккер (Bart Wakker) из Висконсинского университета (в г. Мэдисон) использовали спутник далекой ультрафиолетовой спектроскопии для изучения МГС в окрестностях нашей

Галактики. Их наблюдения показали, что ближайшие газовые облака – неоднородны, они напоминают по своей структуре космическую паутину между скоплениями галактик, но при этом движутся сквозь среду с температурой в миллионы кельвинов, подобную газу внутри скоплений галактик. Это позволяет думать, что местная группа галактик может быть окружена протяженной газовой короной, свойства которой наводят на мысли как о наиболее разреженных, так и о наиболее плотных областях МГС. Такие горячие области могут составлять еще неизвестную ком-

поненту МГС, на которую может приходиться большая доля массы этой среды.

Подобные исследования подтверждают очевидность того, что история межгалактической среды готовит нам много сюрпризов. Словно неустрашимые космические путешественники мы прокладываем путь от знакомой около-солнечной области в глубину самых пустынных мест, которые можно вообразить. Наши глаза лишь начинают привыкать к неожиданной и сложной красоте космической паутины, протянувшейся через самые пустые области Вселенной. ■

ОБ АВТОРАХ

Эван Сканныпьеко (Evan Scannapieco), **Патрик Птижан** (Patrick Petitjean) и **Том Броджерст** (Tom Broadhurst) своими исследованиями вносят большой вклад в изучение межгалактической среды. Сканныпьеко и Броджерст сделали первый теоретический анализ влияния истечения вещества из галактик на формирование других галактик. Сканныпьеко и Птижан совместно изучают группирование тяжелых элементов, наблюдаемое в спектрах квазаров. Сканныпьеко, занимающийся также космологией, работает под грантом Национального научного фонда во Флорентийской астрофизической обсерватории и в Парижском институте астрофизики. Птижан является заместителем директора этого института и главой Европейской сети по исследованию межгалактической среды. Броджерст – профессор Еврейского университета в Иерусалиме, открыл некоторые из самых известных на сегодня далеких галактик.

ТЕХНОЛОГИИ

КОЛЕСНИЦА ПЕРЕМЕН

Лоуренс Бернс, Байрон Маккормик, Кристофер Боррони-Берд



Доска на колесах: основные функциональные элементы экспериментального автомобиля на водородных топливных элементах *Fu-cell*, созданного компанией General Motors: низкое шасси («скейтборд») с батареей топливных элементов, электродвигателями и программируемыми электронными органами управления.

Автомобили на водородных топливных элементах помогут создать экологически чистое будущее.



В 1886 г. Карл Бенц выкатил из сарая изобретенный им моторный экипаж и буквально раскрутил колеса перемен. Появление автомобиля привело к коренным изменениям образа жизни и преобразованию мировой экономики – к переменам, которых тогда никто не ожидал. Доступность личных транспортных средств сделала мир более открытым и породила сложные промышленные инфраструктуры, сформировавшие лик современного общества.

Сегодня промышленность готова начать новую революцию: перевод автотранспорта с нефти на водород. Топливные элементы (ТЭ), которые расщепляют атомы водорода на протоны и электроны и приводят в действие электродвигатели, не выбрасывают в атмосферу ничего, кроме водяного пара. Автомобили могут стать не только чище, но и безопаснее, комфортабельнее и, возможно, дешевле. Более того, транспорт на топливных элементах (ТЭ-автомобили) ускорит переход к «зеленой» энергетике на основе водорода. При этом и потребление, и производство энергии изменятся коренным образом.

В настоящее время сложилась очень благоприятная обстановка для больших перемен. Во-первых, двигатели внутреннего сгорания на углеводородном топливе при всем совершенстве, надежности и экономичности практически достигли предела возможностей. Несмотря на неуклонное

совершенствование конструкции, коэффициент полезного действия (КПД), т. е. эффективность преобразования содержащейся в топливе энергии в работу вращения колес, у современных автомобилей с двигателями внутреннего сгорания не превышает 20–25%. Автопромышленность США добилась существенного снижения концентрации вредных веществ в выхлопных газах по сравнению с 1960 г.: на 99% по углеводородам, на 96% по окиси углерода (СО) и на 95% по окислам азота. Тем не менее выбросы углекислого газа (СО₂) вызывают серьезные опасения, так как могут привести к изменению климата на всей Земле.

Несмотря на применение новых технологий, КПД двигателей внутреннего сгорания вряд ли превысит 30%, и в любом случае от выбросов углекислого газа никуда не деться. У ТЭ-автомобилия КПД вдвое выше, а значит, он может потреблять вдвое меньше энергии. Еще важнее то, что топливные элементы выделяют в атмосферу только водяной пар и тепло. Наконец, газообразный водород можно получить переработкой природного газа, этилового спирта, воды (посредством ее электролиза), а со временем – с использованием возобновляемых источников энергии. Поэтому внушительная группа автомобилестроительных компаний, в числе которых *DaimlerChrysler, Ford, General Motors, Honda, PSA Peugeot-Citroen, Renault-Nissan* и *Toyota*, начала систе-

матические работы по созданию водородных автомобилей.

Автомобиль – не роскошь

В 1960 г. автовладельцы составляли менее 4% населения Земли, двадцатью годами позже – 9%, а сегодня – целых 12%. Если темпы роста сохранятся, то к 2020 г. машины будут у 15% всех жителей планеты. Поскольку численность самого населения за эти 20 лет может вырасти с нынешних 6 млрд до 7,7 млрд, общее число автомобилей в мире увеличится с 700 млн до 1,1 млрд. Этот рост будет подстегиваться бурным развитием среднего класса в развивающихся странах и увеличением среднего дохода на душу населения, которое почти напрямую связано с приобретением личного авто.

Сегодня три четверти мирового автопарка сосредоточено в США, Европе и Японии. Однако больше 60% прироста продаж в ближайшие 10 лет придется, по прогнозам, на новые рынки: Китай, Бразилию, Индию, Корею, Россию, Мексику, Польшу и Таиланд. Это потребует создания недорогих автомобилей, которые должны быть при этом безопасными, экономичными и экологичными.

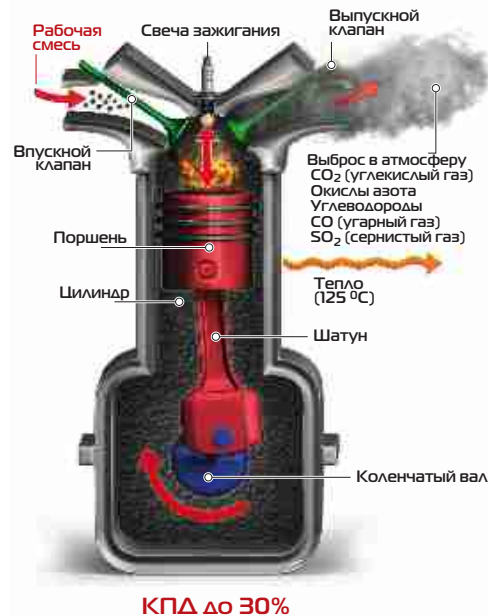
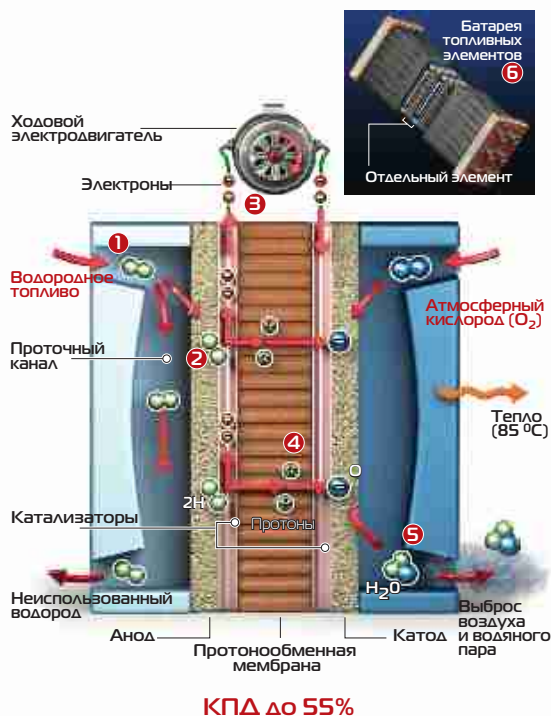
Не нефтью единой

ТЭ-автомобиль по сути является автомобилем с электрической тягой. Однако двигатель получает энергию не от аккумуляторной (электрохимической) батареи, а от батареи топливных элементов (см. рис.). Электричество вырабатывается в результате отрыва электронов от атомов водорода, проходящих через мембрану топливного элемента. Возникающий электрический ток приводит в действие электродвигатель, который вращает колеса. Протоны атомов водорода соединяются затем с кислородом и электронами, в результате чего образуется вода (в виде пара). При использовании чистого водорода ТЭ-автомобиль вообще не дает вредных выбросов.

Получение водорода реформингом молекул углеводородов или электролизом воды требует энергии. И хотя за

ОБЗОР: ВОДОРОДНЫЕ ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

- В топливных элементах преобразование химической энергии водорода в электроэнергию не сопровождается вредными выбросами. Поэтому электромобили не загрязняют окружающую среду. В сочетании с компактными системами рулевого управления, торможения и газа технология топливных элементов позволяет инженерам отделить шасси от просторного кузова (возможно, сменного).
- Появление автомобилей на водородных топливных элементах изменит энергетику и улучшит состояние окружающей среды без ущерба для личной мобильности людей.
- Замкнутый круг: для широкого распространения ТЭ-автомобилей потребуются легкодоступный водород. Но необходимую для этого инфраструктуру трудно создать, пока на дорогах не появится достаточного количества таких авто.



Энергетическая установка на топливных элементах

Электрохимия вместо сжигания: топливный элемент состоит из двух пористых электродов – анода и катода – и разделяющей их протонообменной мембраны (ПОМ) из полимерного электролита, которая пропускает только протоны. Поверхности обоих электродов покрыты катализаторами. Анодный катализатор разделяет атомы поступающего водорода (1) на электроны и протоны (2). Электроны создают электрический ток, приводящий в действие электродвигатель (3), а оставшиеся протоны проходят через мембрану (4) к катоду. Катодный катализатор объединяет их с электронами, поступающими из электродвигателя, и кислородом воздуха, в результате чего образуется водяной пар (5). Для получения более высокого напряжения можно из отдельных элементов составить батарею (6).

Двигатель внутреннего сгорания

Большинство автомобилей в США оснащено четырехтактными двигателями внутреннего сгорания. При вращении коленчатого вала поршень начинает возвратно-поступательное движение из верхнего положения в цилиндре. При этом впускной клапан открывается, позволяя рабочей смеси (паров бензина с воздухом) поступать в цилиндр. Затем поршень начинает перемещаться вверх, сжимая рабочую смесь. Искра от свечи зажигания воспламеняет сжатую смесь. Та взрывается, заставляя поршень вновь двигаться вниз. После этого открывается выпускной клапан, и продукты сгорания выходят из цилиндра.

счет высокого КПД топливных элементов энергетические затраты окупаются с избытком, энергию необходимо сначала откуда-то получить. Электростанции на природном газе, нефти или угле вырабатывают углекислый газ и другие «парниковые» газы. Атомные электростанции (АЭС) свободны от этого недостатка. Лучше всего было бы получать электроэнергию от возобновляемых источников – биомасс, гидроэлектростанций, солнечных, ветровых и геотермальных установок.

Приняв водород в качестве топлива, транспорт сможет избавиться от нефтяной зависимости и перейти к использованию различных источников энергии.

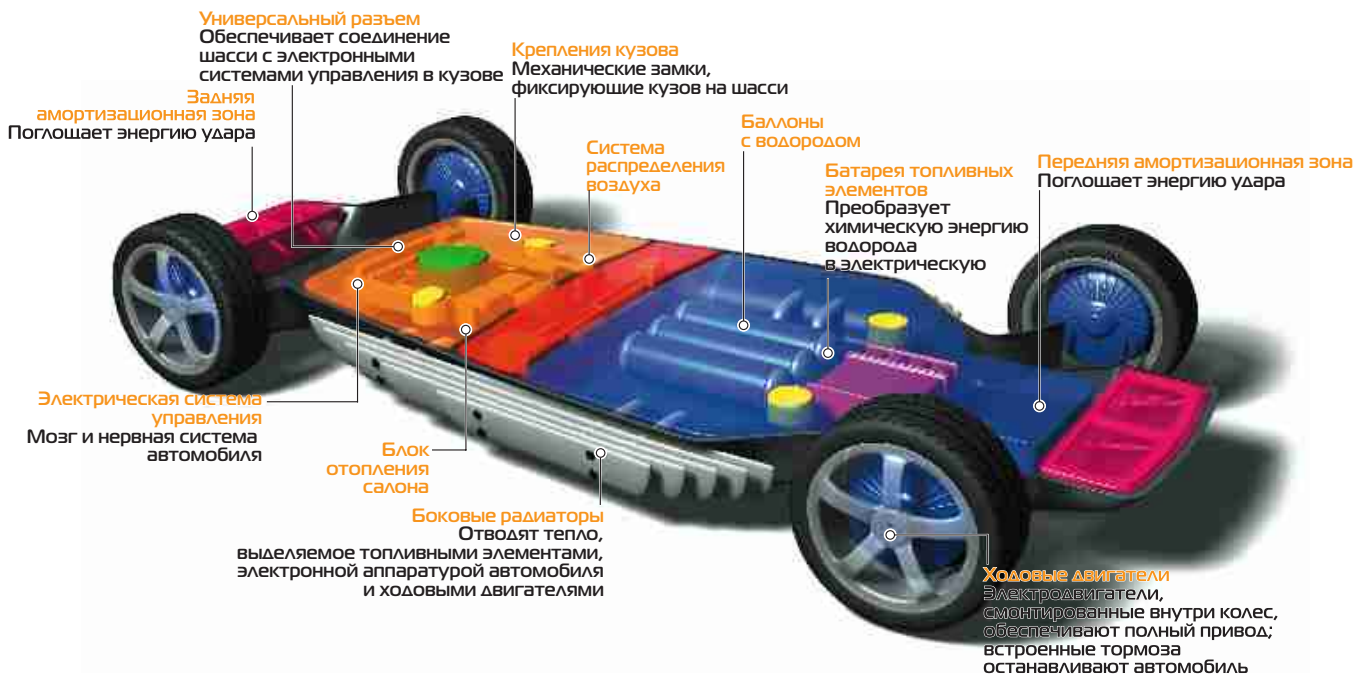
Первая ласточка

Создание истинно революционного моторного экипажа подразумевает интеграцию топливных элементов и электронных устройств, которые заменят механику рулевого управления, торможения и газа. Это позволит сэкономить пространство, так как электрические системы, как правило, компактнее механических и их работу можно программировать. Кроме того, отсутствие традиционной трансмиссии даст автомобилестроителям гораздо большую свободу в выборе новых конструкций.

Компания *General Motors (GM)* разработала концепцию *AUTOmomy* и реализовала ее в начале 2002 г. Экспериментальная модель (концепт-кар) *Hy-wire* (hydrogen by-wire, т. е. «водородный с электрическим управлением») в сентябре 2002 г. была представлена на Парижском автосалоне.

НИЗКОЕ ШАССИ ПО КОНЦЕПЦИИ AUTOonomy

Основа концепции AUTOonomy компании General Motors – «упаковка» всех функциональных систем автомобиля в низкое шасси, напоминающее скейтборд. Компактная электронная система управления дает конструкторам большую свободу компоновки салона. А использование сменных кузовов позволяет без труда превратить семейный седан в мини-вэн или в автомобиль повышенного комфорта.



Основой электромобиля стало низкое шасси, напоминающее скейтборд, на котором смонтированы топливные элементы, баллоны с водородом, теплообменники, ходовые электродвигатели и электроника, а также тормозная и рулевая системы (см. рис.). Для соединения шасси с кузовом используется простой электрический разъем и несколько механических креплений. С помощью сменных кузовов машину можно легко превратить в автомобиль повышенной комфортности, семейный седан или минивэн.

Управление осуществляется с помощью консоли X-Drive, которая напоминает руль мотоцикла. Ее можно перемещать поперек автомобиля, устанавливая в положение левого или правого руля. Отличные ходовые качества, управляемость и устойчивость модели *Hu-wire* достигаются за счет низко расположенного центра масс.

Упрощение конструкции автомобиля, обеспечиваемое концепцией

AUTOonomy, может оказать большое влияние на все автомобилестроение. Уменьшение количества типов деталей и их унификация приведут к значительному снижению затрат за счет больших объемов производства. Так, несмотря на разнообразие кузовов, будет всего три типа универсальных шасси – компактное, среднее и большое. Другой пример – топливная батарея. Она составляется из одинаковых элементов с плоским катодом и анодом, которые разделены мембраной из полимерного электролита. В зависимости от требуемой мощности автомобиля можно составлять батарею из большего или меньшего числа таких элементов. И хотя в сегодняшних топливных элементах применяются дорогие полимерные мембраны, а катализаторами служат драгоценные металлы, уже есть определенные успехи в уменьшении требуемого количества катализаторов и удешевлении мембран.

Хранение водорода

Не все технические трудности создания практичных транспортных средств на топливных элементах уже преодолены. Одна из важнейших задач – разработка безопасного и эффективного способа хранения такого количества водорода, чтобы одной заправки хватало на 500 км. Топливная система должна работать в диапазоне температур от -40 до $+45$ °C и обладать ресурсом не менее 250 000 км, при этом заправка должна занимать несколько минут. Существуют разные подходы к хранению водорода. Оно возможно в трех формах: в виде сжатого газа, в сжиженном состоянии и в твердотельной системе. Все подходы перспективны, но у каждого из них свои технические трудности.

Вероятнее всего, сначала будут использоваться баллоны со сжатым газом, но высокое давление, естественно, представляет собой опасность. Сегодня системы сжатого водорода позволяют

Автомобили на водородных топливных элементах потребляют почти вдвое меньше энергии, так как их КПД примерно вдвое выше, чем у автомобилей с двигателями внутреннего сгорания.

использовать давление примерно до 350 бар, но для увеличения пробега автомобиля на одной заправке желательно довести рабочее давление до 700 бар. Для обеспечения безопасности нужно, чтобы баллон выдерживал ударное давление, по крайней мере вдвое превышающее рабочее давление газа. Сегодня баллоны делаются из материалов либо очень дорогих, вроде углепластика, либо очень тяжелых. Кроме того, они довольно велики, что затрудняет их размещение в автомобиле.

Водород можно хранить также в сжиженной форме, но для охлаждения его до температуры сжижения ($-253\text{ }^{\circ}\text{C}$) требуются большие затраты энергии. Кроме того, за каждые сутки будет выкипать 3–4% жидкости.

Более удачное решение – транспортировка водорода в твердотельных системах. Перспективным может стать использование гидридов металлов, когда водород удерживается в порах спрессованного порошка металлического сплава, как вода в губке. Неос-

поримые достоинства – простота конструкции системы, высокая степень безопасности и большая емкость. Однако для извлечения водорода из гидрида необходимы температуры от 150 до 300 $^{\circ}\text{C}$. Чтобы избежать больших бесполезных затрат энергии, нужно добиться высвобождения водорода при температурах около 80 $^{\circ}\text{C}$. Хотя исследования в этой области только начинаются, хранение в твердотельной системе очень привлекательно.

Перестройка инфраструктуры

Электромобиль способен оказать огромное влияние на мировую энергетику. Невозможно эксплуатировать большое число ТЭ-автомобилей, не имея достаточно развитой системы снабжения их водородом, но никто не станет создавать необходимую инфраструктуру, пока на дорогах не появится достаточно большого количества ТЭ-автомобилей. Важнейшее условие широкого распространения ТЭ-автомобилей – поддержка со сто-



роны местных и общенациональных лидеров в частном и государственном секторах. Предстоит решить такие вопросы, как финансирование, стимулирование разработок заправочных станций, создание единых стандартов. ▶

HY-WIRE РАСКРЫВАЕТ СВОЙ ИНТЕРЬЕР



Гибкость конструирования и свобода выбора – вот основы стратегии, цель

которой состоит в размещении всех функциональных систем автомобиля в низком шасси, подобном скейтборду. Не будучи стесненными такими неудобными вещами, как приборный щиток или центральный туннель на полу, конструкторы кузовов смогут свободнее компоновать салон автомобиля. При этом можно будет использовать одно и то же шасси с набором разнотипных сменных кузовов.



ЭТАПЫ ПУТИ К ВОДОРОДНОМУ ОБЩЕСТВУ

В ближайшие годы

(а) Испытания нескольких экспериментальных автомобилей, переданных в аренду людям, живущим вблизи станций заправки водородом.

(б) Начало перевода на водород коммерческих транспортных средств, ежедневно возвращающихся в свои гаражи, – автобусов, почтовых автомобилей, автомобилей для развозки товаров, – которые будут заправляться на централизованных станциях.

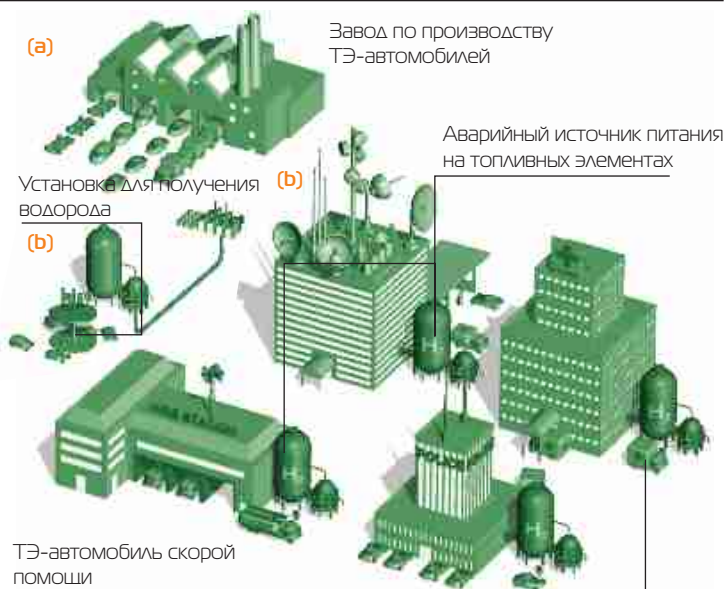


В пределах десяти лет

(а) Автозаводы начнут выпуск шасси на топливных элементах и нескольких вариантов сменных кузовов.

(б) Для заправки первых серийных автомобилей будут созданы заправочные станции с реформинг-установками, вырабатывающие на месте водород из природного газа.

(с) На предприятиях и в организациях, требующих бесперебойного энергоснабжения (центрах связи, предприятиях с непрерывным циклом производства и больницах скорой помощи), будут установлены стационарные установки для получения водорода из природного газа и питания этим водородом топливных элементов.



В более долгосрочной перспективе

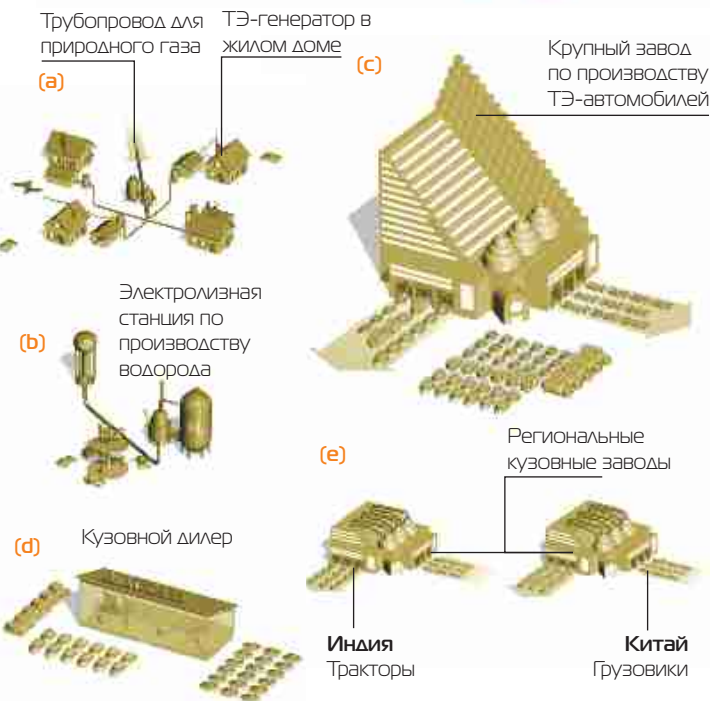
(а) Установка стационарных генераторных блоков с реформинг-установками и топливными элементами на многих предприятиях и в организациях, а затем и в жилых домах; продажа ими электроэнергии в энергосистемы с созданием в итоге системы распределенной генерации. Эти блоки начнут также местные поставки водорода своим работникам.

(б) Вступит в строй большее число электролизных станций по производству водорода.

(с) Крупные автозаводы начнут выпускать низкие шасси трех размеров (компактные, средние и большие).

(д) Дилеры будут продавать владельцам шасси кузова различных типов.

(е) В разных регионах заводы начнут выпускать кузова для местных рынков (например, для тракторов в Индии и для грузовиков в Китае).



Источники энергии

Сегодняшние электростанции на ископаемом топливе, ядерные и гидроэлектростанции будут все больше дополняться более чистыми и возобновляемыми источниками электроэнергии.



Автомобили на топливных элементах обеспечат будущее, в котором личную мобильность можно будет поддерживать неограниченно долго.

Потребуется государственная поддержка научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию такой инфраструктуры.

Промышленность также должна способствовать переходу на водородную экономику. Стратегию, которая могла бы сдвинуть дело с мертвой точки, разрабатывает и компания *GM*. Идея заключается во внедрении промежуточных устройств на основе водородных топливных элементов. Это позволит накапливать опыт их практической эксплуатации в реальных условиях и хотя бы частично компенсировать сотни миллионов долларов, вложенных в их разработку.

В ближайшие годы *GM* намерена представить серию стационарных ТЭ-генераторов для применения в качестве основных источников энергии или в качестве высоконадежных аварийных источников бесперебойного питания. Этот бизнес с планируемым годовым оборотом в \$10 млрд ориентирован на потребителей, для которых перебои в энергоснабжении недопустимы, в частности на центры обработки данных, больницы, предприятия с непрерывным циклом и телекоммуникационные компании.

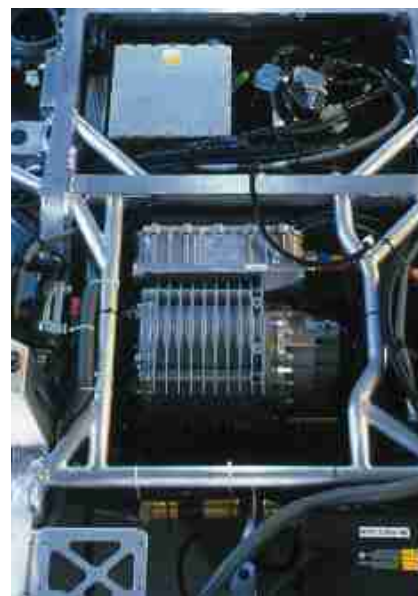
Водородные генераторы позволят сократить затраты, уменьшив потребление энергии из сети в часы пик, и получить доход за счет продажи энергии обратно в сеть. Один из первых таких продуктов *GM* – это генератор мощностью 75 кВт с собственной реформинг-установкой, обеспечивающей получение водорода из природного газа, метана или бензина. Никаких радикальных технических новшеств для производства таких стационарных энергетических установок не требуется.

Когда безопасные и надежные методы хранения водорода станут доступ-

ными, появятся станции переработки топлива и заправки автомобилей водородом. Преимущество переработки топлива состоит в том, что основная часть инфраструктуры, необходимой для реализации этой программы, уже существует. Нынешние АЗС можно дополнить реформинг-установками или электролизерами, что позволит получать водород на месте. Для этого не понадобится строить новые протяженные трубопроводы и разрушать существующую инфраструктуру АЗС. Раз уж мы начинаем переход с нефти на водород, этот путь вполне может оказаться оптимальным.

Более радикальная схема – заправка водородом дома или на работе с использованием распределительной сети, по которой сегодня снабжаются газом жилые дома и организации. Из природного газа можно получать водород и хранить его непосредственно на борту транспортных средств. Для получения водорода можно использовать электроэнергию от обычной энергосети, особенно в часы затишья, например, ночью, когда автомобиль стоит в гараже.

По мере усложнения инфраструктуры энергоснабжения автомобилей их роль в мировой энергетической системе может измениться. Транспортные средства можно будет использовать для снабжения электроэнергией



жилых домов и учреждений, ведь большинство автомобилей простаивает около 90% времени. Так, если бы всего 4% автомобилей в Калифорнии работали на топливных элементах, они могли бы вырабатывать больше электроэнергии, чем передается по энергосетям штата.

Водородную экономику изучают энергетические компании во всем мире. На недавних слушаниях в подкомитете по энергетике комитета по науке палаты представителей США Джеймс Уилейн (James P. Uihlein) из *British Petroleum* заявил, что себестоимость ▶

Основные разработчики топливных элементов для автомобилей

DaimlerChrysler AG,	Штутгарт-Моринген, Германия
Ford Motor Co.,	Дирборн, шт. Мичиган, США
General Motors Corp.,	Детройт, шт. Мичиган, США
Honda Motor Company Ltd,	Токио, Япония
PSA Peugeot-Citroen,	Париж, Франция
Renault-Nissan Alliance,	Париж/Токио
Toyota Motor Corp.,	Тойота-Сити, Япония

водорода, получаемого из природного газа, может быть близкой к себестоимости обычного автомобильного топлива. Более того, благодаря исключительно высокому КПД силовой установки на топливных элементах, стоимость километра пробега у электромобиля может оказаться существенно меньше, чем у автомобиля на обычном топливе. По словам Уилейна, сегодняшняя дороговизна водорода объясняется большими затратами на его транспортировку и распределение.

Овес нынче дорог

В энергетическом отношении килограмм водорода примерно эквивалентен галлону топлива из нефти. Стоимость же килограмма водорода в зависимости от исходного сырья, методов получения и распределения может в 4–6 раз превышать стоимость галлона бензина или дизельного топлива. Но так как КПД оптимизированного ТЭ-автомобиля по меньшей мере вдвое превышает КПД автомобиля с двигателем внутреннего сгорания, пробег на килограмме водорода будет вдвое больше, чем на галлоне обычного горючего. Следовательно, водород станет экономически выгодным, если розничная цена за килограмм будет не больше цены двух галлонов бензина. По мере совершенствования технологии хранения водорода, переработки топлива и электролиза, а также увеличения спроса на водород, стоимость его будет падать. Недавние исследования показали, что современные технологии позволяют снизить стоимость водорода до уровня, всего на 30% превышающего требуемый.

Пока лишь рассматриваются возможные варианты создания инфраструктуры для поддержки водородного автомобиля. Но мы уверены, что когда она понадобится, ее развитие будет протекать очень бурно, как это было сто лет назад с бензиновым авто. Предприниматели всегда готовы ухватиться за новые возможности.

Хотя споры о том, как создать требуемую систему распределения водорода, продолжаются, интересно отметить,

что в некоторых местах сети распределения водорода уже существуют. Наиболее значительны из них американская, на побережье Мексиканского залива, и европейская – вокруг Роттердама в Нидерландах. Существующие инфраструктуры производят около 540 млрд кубометров водорода в год, в основном путем реформинга природного газа. В энергетическом отношении это количество эквивалентно примерно 140 млн тонн нефти в год, что составляет около 10% сегодняшних потребностей транспорта. Названные сети предназначены для иных целей, но само их существование говорит о том, что уже накоплен большой опыт производства и транспортировки водорода.

Как и в случае любого технического прорыва, способного изменить господствующие технологии, для внедрения топливных элементов и создания водородной энергетической инфраструктуры потребуется время. Предсказать темп развития событий трудно, но уже к концу текущего десятилетия планируется выпуск привлекательных и доступных по цене ТЭ-автомобилей. Между 2010 и 2020 гг. они станут широко распространенным видом транспорта, поскольку автомобилестроители начнут создавать базу, необходимую для обеспечения массового производства. Многие крупные компании, в том числе GM, вложили в исследования и

ОБ АВТОРАХ

Лоуренс Бернс (Lawrence D. Burns), **Байрон Маккормик** (J. Byron McCormic), **Кристофер Боррони-Берд** (Christopher E. Borroni-Bird) ведут разработку топливных элементов в компании General Motors. Бернс занимает пост вице-президента подразделения НИОКР и планирования и курирует программы разработки новейших технологий, а также отвечает за портфель продуктов компании, производственные мощности и планирование. Бернс входит в состав совета автомобильной стратегии – высшего руководящего органа GM. Маккормик является исполнительным директором программы по разработке топливных элементов GM. Подобными исследованиями он занимался на протяжении всей карьеры. В Лос-Аламосской национальной лаборатории он предложил программу топливных элементов для транспорта и возглавлял ее до перехода в GM в 1986 г. Боррони-Берд пришел в GM в июне 2000 г. и возглавил группу, которая занималась внедрением новых технологий в конструкцию автомобилей. Он также является директором программы AUTOpomy, включающей разработку экспериментальной модели Hy-wire. До прихода в GM он возглавлял программу Jeep Commander по разработке ТЭ-автомобиля в компании Chrysler.



разработку топливных элементов уже сотни миллионов долларов, и чем скорее появится отдача от этих инвестиций, тем лучше.

Полная смена автомобильного парка занимает около 20 лет, поэтому экологические и экономические преимущества использования топливных элементов проявятся не раньше, чем через 20 лет. Однако концепция AUTOpomy приближает будущее. Вместо постепенной эволюции автомобиля мы видим создание революционных технологий, которые существенно изменят и сам автомобиль, и его роль в мире. ■

БИОЛОГИЯ

ЭВОЛЮЦИЯ

ЦВЕТА КОЖИ

Нина Яблонски и Джордж Чаплин



Различный цвет кожи у людей в разных уголках планеты не случаен: он достаточно темен, чтобы предотвратить разрушение солнечными лучами жизненно важного вещества фолата, но достаточно светел, чтобы обеспечить организм витамином Δ .

Народы с более темной кожей живут ближе к экватору, а с более светлой – к полюсам. Уже долгие годы господствует теория, что темная кожа возникла у человека в процессе эволюции для защиты организма от рака кожи. Но данные последних эпидемиологических и физиологических исследований указывают на то, что характер распределения цвета кожи у людей в масштабах планеты – результат естественного отбора, направленного на регуляцию воздействия ультрафиолетового (УФ) излучения солнца на незаменимые для жизни вещества, ответственные за репродуктивный успех.

Утрата волосяного покрова

Эволюция кожной пигментации неразрывно связана с эволюцией волосяного покрова (точнее, с его утратой). Чтобы лучше понять эти процессы, необходимо совершить краткий экскурс в историю. Развитие человека как независимой от человекообразных обезьян эволюционной линии началось по меньшей мере 7 млн лет назад, когда наши древнейшие предки отделились от ветви своих ближайших родственников – шимпанзе. Поскольку эти животные изменились с тех пор гораздо меньше, чем люди, они могут дать нам некоторое представление об анатомических и физиологических особенностях наших прародителей. Кожа у шимпанзе светлая и на большей поверхности тела покрыта волосами. У детенышей –

лицо, кисти и стопы розовые, но с возрастом под воздействием солнечных лучей они темнеют или покрываются пигментными пятнами. У наших пращуров скорее всего тоже была светлая кожа, покрытая волосами. Но возникает вопрос – когда же они утратили волосяной покров?

Об их телосложении и образе жизни позволяют судить находки скелетов древнейших предков, – например, известный скелет австралопитека Люси, чей возраст около 3,2 млн лет. Похоже, повседневный уклад гоминид, обитавших на Земле около 3 млн лет назад, не очень отличался от образа жизни приматов, живущих сегодня на просторах африканских саванн. Большую часть суток они, вероятно, проводили в поисках пропитания, преодолевая за день около 5 км, а затем устраивались на ночлег в безопасных кронах деревьев.

Однако примерно 1,6 млн лет назад подобный образ жизни начал кардинально меняться. Знаменитый скелет «турканского юноши» (одного из представителей *Homo ergaster*) принадлежал длинноному человеку, способному преодолевать на двух конечностях значительные расстояния. Эти более активные, чем австралопитеки, древнейшие люди столкнулись с проблемой терморегуляции и должны были защищать голову от перегревания. Питер Уилер (Peter Wheeler) из Ливерпульского университета им. Джона Мура показал, что охлаждение

тел у них достигалось за счет увеличения количества потовых желез и частичной утраты волосяного покрова. Но древние представители рода *Homo* тут же столкнулись с другой проблемой – необходимостью защитить кожу от вредного воздействия солнечного света, в особенности от УФ-лучей.

Естественный крем от загара

У шимпанзе кожа на голых участках тела содержит особые клетки – меланоциты, способные под воздействием УФ-излучения синтезировать коричневый пигмент меланин. Когда люди утратили большую часть волосяного покрова, способность кожи вырабатывать этот пигмент приобрела новое важное значение. По сути дела, меланин – естественный «крем от загара»: крупная молекула этого органического вещества служит своего рода ▶



фильтром. Во-первых, она поглощает УФ-лучи, во-вторых, нейтрализует свободные радикалы – вредные вещества, которые образуются в коже под воздействием УФ-излучения.

Антропологи и физиологи довольно убедительно обосновали предположение, что высокая концентрация меланина у жителей тропической зоны возникла чтобы защищать их от рака кожи. Так, например, Джеймс Кливер (James E. Cleaver) из Калифорнийского университета в Сан-Франциско утверждает, что люди, страдающие пигментозной ксеродермой, при которой пребывание на солнце приводит к разрушению меланоцитов, чаще других болеют плоскоклеточным и базальноклеточным раком кожи – заболеваниями, хорошо поддающимися лечению. Злокачественная меланома приводит к смерти чаще, но отмечается реже (примерно в 4% всех диагностируемых случаев рака кожи) и, как правило, поражает только светлокожих людей. Но поскольку люди заболевают той или иной формой рака в довольно зрелом возрасте (после наступления половой зрелости), защита кожи от этой болезни едва ли является единственным фактором естественного отбора, определившим возникновение темнокожести. Вот почему мы задались вопросом, какую роль в эволюции человека мог сыграть мелатонин.

Кожа и фолаты

В 1987 г. Ричард Бранда (Richard F. Branda) и Джон Итон (John W. Eaton), исследователи из Вермонтского университета, обнаружили, что у светлокожих людей под воздействием сильного искусственного солнечного света уровень незаменимого для жизни фолата (одного из витаминов группы В) в крови падает до аномально низкого. Воздействие этих же условий на сыворотку человеческой крови уже через час приводит к 50%-му снижению содержания фолата.

Значение этих фактов для репродукции, а значит, и для эволюции человека подтвердили работы сотрудников Университета Западной Австралии Фионы Стэнли (Fiona J. Stanley) и Кэрол Боуер (Carol Bower). В конце 1980-х гг. они обнаружили, что дефицит фолата у беременных женщин увеличивает риск врожденных дефектов нервной трубки у детей – например, расщелина позвоночника, при которой дуги позвонков не полностью смыкаются вокруг спинного мозга. С тех пор эту зависимость подтвердили многие группы исследователей во всем мире.

Поскольку фолат требуется для синтеза ДНК в делящихся клетках, он необходим для всех процессов, связанных с быстрой клеточной пролиферацией (например, для сперматогенеза, т. е. образования сперматозоидов). У самцов крыс и мышей с химически вызванным дефицитом фолата наступали ухудше-

ние сперматогенеза и бесплодие. Хотя на людях подобные исследования не проводились Вай И Вонг (Wai Yee Wong) из Медицинского центра Неймегенского католического университета Нидерландов недавно сообщил о том, что лечение фолиевой кислотой (один из синонимов фолата) может вызвать увеличение количества сперматозоидов у мужчин с нарушениями репродуктивной функции.

Эти факты навели нас на мысль, что темная кожа могла возникнуть у людей для защиты запасов фолата от разрушений. Эту гипотезу подтвердил аргентинский педиатр Пабло Лапунзия (Pablo Lapunzia), обнаруживший, что у трех молодых и здоровых женщин, принимавших в первые недели беременности солнечные ванны, родились дети с дефектами нервной трубки. Таким образом, выявленное разрушение фолата под воздействием УФ-излучения лишь дополняет известные уже факты о вредном (вызывающем рак кожи) влиянии УФ-излучения на ДНК.

Кожа и география

Древнейшие представители *Homo sapiens* появились в Африке 100–200 тыс. лет назад и обладали темной пигментированной кожей. Когда люди начали покидать тропики, они стали получать гораздо меньшие дозы УФ-излучения, и высокая концентрация в коже естественного «крема от загара» оказалась для них неблагоприятной. Уровень меланина в темной коже настолько высок, что проникнуть в нее способна лишь незначительная часть УФ-излучения (в частности, коротковолнового УФВ-излучения). Хотя УФВ-лучи оказывают на организм в основном пагубное воздействие, все же они выполняют и одну важную функцию – способствуют образованию витамина Д. Дозы УФ-излучения, которые в течение года получают темнокожие люди в тропиках, обычно достаточны для стимуляции образования витамина Д. За пределами тропиков дело обстоит иначе. Мигранты, переселившиеся в северные

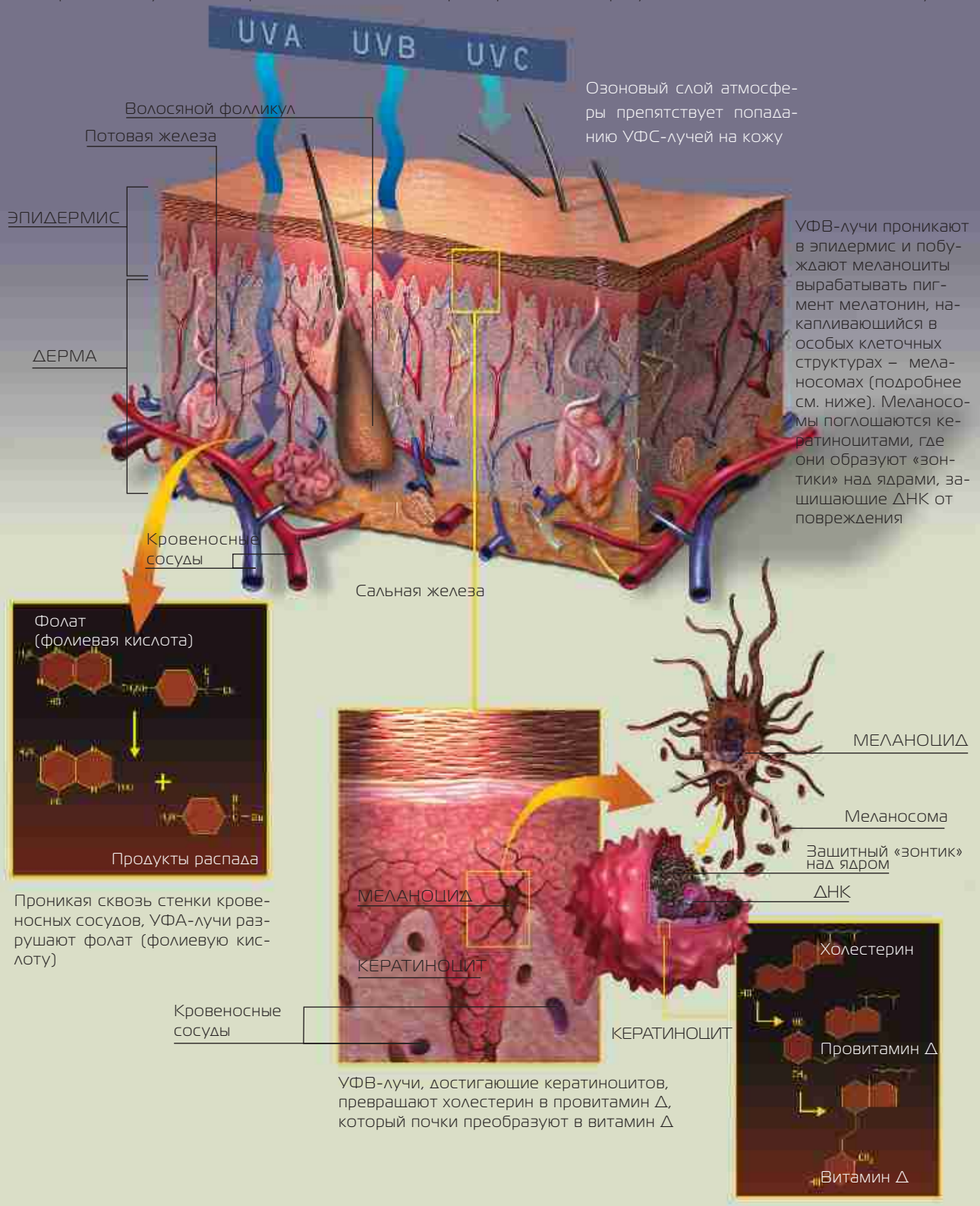
ОБЗОР: ЭВОЛЮЦИЯ ЦВЕТА КОЖИ

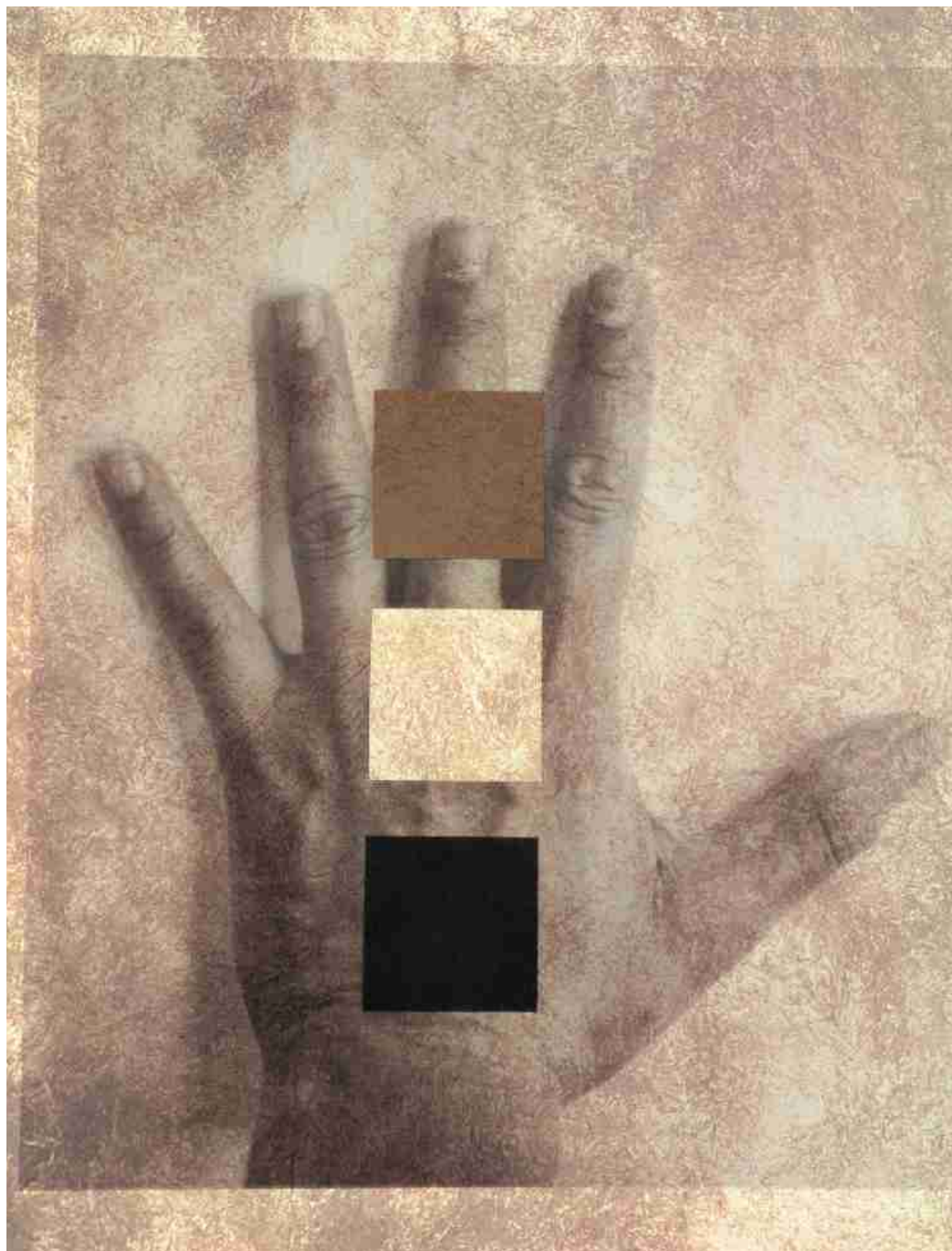
- Чтобы избежать перегревания тела, ранние гоминиды утратили волосяной покров и приобрели пигментированную кожу. Поначалу ученые полагали, что пигментация возникла как средство защиты организма от ультрафиолетового излучения, вызывающего рак кожи.
- Все формы рака кожи возникают, как правило, после наступления половой зрелости. Согласно альтернативной теории, темная кожа у человека появилась в процессе эволюции главным образом для того, чтобы предотвратить разрушение фолата – жизненно важного вещества, имеющего ключевое значение для репродуктивной способности.
- Слишком темная кожа не пропускает солнечный свет, необходимый для образования витамина Д, от которого зависит состояние костной ткани матери и плода. Поэтому в процессе эволюции кожа у человека посветлела, чтобы обеспечить выработку витамина Д, но осталась достаточно темной, чтобы защитить от истощения запасы фолата в организме.
- В результате усилившейся в последнее время миграции населения многие люди живут сегодня в регионах, где уровень УФ-излучения выше (или ниже) того, который соответствует их цвету кожи.

КОЖА НА СОЛНЦЕ

Для человека ультрафиолетовые лучи солнца – и благо, и зло. Они стимулируют образование витамина Д, но разрушают фолат и могут вызывать рак. Пигмент меланин, выра-

батываемый меланоцитами, предотвращает повреждение ДНК и распад фолата. Но для образования витамина Д кератиноцитам требуется достаточное количество УФ-лучей.





широты, решили эту проблему в эволюционном плане за счет утраты кожной пигментации.

Связь между эволюцией светлой (т. е. слабо пигментированной) кожи и синтезом витамина Д была обстоятельно изучена в 1967 г. Фарнsworthом Лумисом (Farnsworth Loomis) из Университета Брендиса (штат Массачусетс). Ученый установил, что витамин Д имеет важное значение для репродуктивного успеха: он делает возможным всасывание кальция в кишечнике, а это, в свою очередь, обеспечивает нормальное развитие скелета и хорошее состояние иммунной системы. Огромная роль витамина Д подтверждена и проводимыми на протяжении последних 20 лет исследованиями Майкла Холика (Michael Holick) из Медицинской школы Бостонского университета. Ученый обнаружил, что далеко не всегда солнечный свет содержит достаточное для образования витамина Д количество УФВ-лучей. К примеру, в Бостоне, расположенном примерно на 42 градусе северной широты, клетки кожи человека начинают продуцировать витамин Д только с середины марта. В зимнее время уровень УФВ для этого слишком низок. Это открытие заполняет еще один пробел в истории о цвете кожи.

В 1996 г. нам предоставили данные измерений уровня УФ-излучения на поверхности планеты, сделанные спектрофотометром НАСА между 1978 и 1993 гг. Так мы получили возможность смоделировать распределение УФ-излучения на земном шаре и связать данные, полученные со спутника, с количеством УФВ-излучения, необходимым для образования витамина Д.

Оказалось, что в отношении синтеза витамина Д всю поверхность Земли можно разделить на три зоны: первая включает тропики, вторая – субтропики и умеренный пояс, третья – приполярные области к северу и югу от широты примерно 45 градусов. В первой зоне уровень УФВ в течение всего года достаточно высок для того, чтобы у живущих здесь людей вита-

мин Д мог вырабатываться круглый год. Во второй зоне люди получают недостаточную для синтеза витамина Д дозу УФ-света в течение одного месяца в году, а жители третьей зоны – на протяжении большей части года. Этим объясняется то, что у коренных народов тропиков кожа обычно темная, у населения субтропиков и умеренного пояса хотя и светлее, но подвержена загару, а у жителей приполярных регионов – очень светлая и легко «сгорает» на солнце.

Однако у представителей ряда этнических групп цвет кожи не совсем соответствовал ожидаемому. Например, у инуитов (эскимосов, проживающих на Аляске и севере Канады) кожа слегка темнее, чем можно было ожидать, исходя из уровня УФ-излучения в населенных ими краях. Возможно, это связано с двумя обстоятельствами. Во-первых, инуиты живут здесь сравнительно недавно, т. к. мигрировали в Северную Америку только около 5 тыс. лет назад. Во-вторых, их традиционный рацион чрезвычайно богат продуктами, содержащими витамин Д (особенно рыбой и морскими млекопитающими). Такая диета автоматически снимает проблему синтеза витамина Д и позволяет инуитам и по сей день сохранять смуглую кожу.

Наш анализ способности людей синтезировать витамин Д позволил выявить еще одну закономерность: во всех популяциях женщины имеют более светлую кожу, чем мужчины. (Как показывают наши данные, женщины светлее мужчин в среднем на 3–4%.) Ученые объясняют это самыми

разнообразными причинами. По мнению большинства, феномен обусловлен половым отбором – предпочтением мужчинами женщин с более светлой кожей. Не отрицая роли данного фактора, мы считаем, что подлинная причина иная. На протяжении репродуктивной жизни у женщин потребность в кальции гораздо выше, чем у мужчин (особенно в период беременности и лактации), а потому их организм должен усваивать из пищи максимально возможное количество этого вещества. Это заставляет нас предполагать, что женщины отличаются от мужчин более светлой кожей, потому что повышенное содержание кальция позволяет проникать в их кожу большему количеству УФВ-лучей. В регионах с высоким уровнем УФ-излучения женщины, по сути дела, «ходят по лезвию ножа» естественного отбора: им необходимо максимизировать светозащитную функцию кожи с одной стороны, и способность к синтезу витамина Д – с другой.

На стыке культуры и биологии

Когда около 100 тыс. лет назад люди начали расселяться по всему Старому Свету, их кожа приспособливалась к условиям окружающей среды различных регионов. Изменение цвета кожи у современных людей по мере их перемещения с одного континента на другой – сначала в Азию, затем в Океанию и Австралию, потом в Европу и наконец в Америку – можно восстановить довольно точно. Важно, однако, ▶

ОБ АВТОРАХ

- Профессор и куратор антропологии **Нина Яблонски** (Nina G. Jablonski) и аспирант отделения антропологии **Джордж Чаплин** (George Chaplin) работают в Калифорнийской академии наук в Сан-Франциско. Научные интересы Н. Яблонски сосредоточены на проблеме эволюционных адаптаций у обезьян и человека, на приспособлении приматов к глобальным изменениям окружающей среды. Дж. Чаплин – частный консультант служб географической информации, специализирующийся на географических аспектах биологического разнообразия. В 2001 г. Ассоциация географической информации в Лондоне присудила ему премию «Студент года» за магистерскую диссертацию, посвященную анализу корреляции между факторами окружающей среды и цветом кожи.

Кожа людей, населяющих те или иные регионы планеты, тысячелетиями адаптировалась к существующему уровню УФ-излучения, защищая запасы фолата в организме и одновременно позволяя ему продуцировать витамин Д. Кожа более поздних иммигрантов приобретает свой окончательный оттенок только спустя тысячелетия; светлокожие люди подвергаются на новом месте повышенному риску рака кожи, а темнокожим угрожает дефицит витамина Д.

ПОСТОЯННЫЙ ЖИТЕЛЬ

НЕДАВНИЙ ИММИГРАНТ

Южная Африка: 20°–30° южной широты.



Койсаны (Готтентоты)



Зулусы: поселились 1 тыс. лет назад

Австралия: 10°–35° южной широты



Аборигены



Европейцы: 300 лет назад

Побережье Красного моря: 15°–30° северной широты



Суданцы



Арабы: 2 тыс. лет назад

Индия: 10°–30° северной широты



Бенгальцы



Тамилы: 100 лет назад

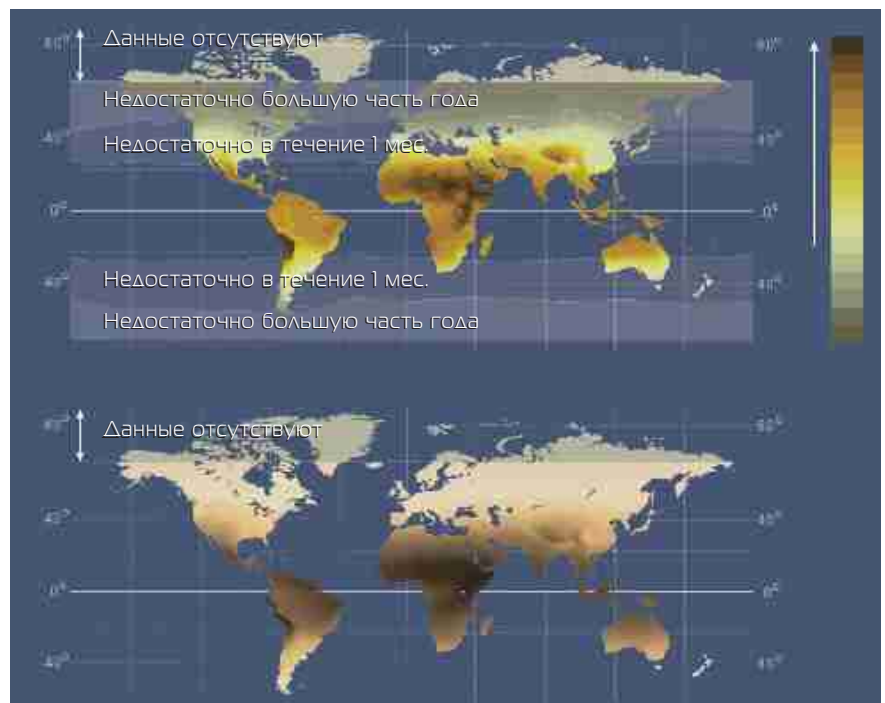
помнить, что тогда люди уже носили одежду и строили жилища, с помощью которых могли защитить себя от атмосферных явлений. Кроме того, они часто питались продуктами, чрезвычайно богатыми витамином Д (как, например, инуиты). Эти два фактора сильно сказывались на темпах и степени эволюции цвета кожи в человеческих популяциях.

Африка – континент с очень неоднородными условиями окружающей среды. Маршруты самых первых перемещений современных людей за пределы экваториальной Африки лежали в Южную Африку. Потомки некоторых из этих древнейших переселенцев – народ койсан (готтентоты) – населяет Южную Африку до сих пор и отличается от коренных экваториальных африканцев более светлой кожей – явная адаптация к низкому уровню УФ-излучения, характерному для южного края континента.

Однако любопытно, что цвет кожи у жителей Южной Африки неодинаковый. Представители этнических групп, говорящие на языке банту, гораздо темнее представителей койсан. Носители банту мигрировали сюда из околоэкваториальных частей Западной Африки сравнительно недавно – вероятно, не ранее начала последнего тысячелетия. Различия в цвете кожи между говорящими на койсан и банту указывают на то, что для понимания причин возникновения у представителей той или иной этнической группы определенного цвета кожи необходимо учитывать время, в течение которого они населяют данный регион.

Сильное воздействие на эволюцию цвета кожи в последнее время оказали и культурные традиции народов. Например, племена, живущие на западном побережье Красного моря, населяют эту область, по-видимому, около 6 тыс. лет. Их представители отличаются очень темной кожей, они высокие, худые, с длинными конечностями – великолепная биологическая адаптация к высокой температуре воздуха и интенсивному УФ-излучению. Напротив, современные земледельцы и пастухи, населя-

Жители тропических зон получают достаточное количество ультрафиолета (верхняя карта, коричневые и оранжевые области) для синтеза витамина Д на протяжении всего года. В умеренных зонах (обозначены светлой штриховкой) население получает недостаточную для синтеза витамина Д дозу УФ-света в течение одного месяца в году, а жители приполярных областей (темная штриховка) – на протяжении большей части года. На нижней карте показан цвет кожи людей, предсказанный на основании уровня УФ-излучения в данной области. У коренных народов Старого Света он вполне соответствует предсказанному. В Новом Свете цвет кожи «старожилов» обычно светлее ожидаемого, что, вероятно, связано со сравнительно небольшими сроками иммиграции и такими факторами, как питание.



ющие восточное побережье Красного моря (Аравийский полуостров), живут здесь всего 2 тыс. лет. Эти первые представители арабов (европейского происхождения) приспособились к условиям окружающей среды исключительно за счет культурных средств – тяжелой защитной одежды и портативной тени в виде шатров. (Возможно, без такого облачения кожа этих поселенцев начала бы темнеть.) Чем позднее произошла миграция этнической группы, тем больше воздействие культурной, а не биологической адаптации.

Риск современных миграций

Хотя здоровье людей за прошедшее столетие в целом улучшилось, сегодня нередки случаи появления заболеваний в популяциях, в которых прежде они не возникали. Одна из таких болезней – рак кожи (особенно плоскоклеточный и базальноклеточный) среди светлокотных людей. Другая – рахит, обусловленный острой нехваткой витамина Д, поражающий людей с темной кожей. Чем это можно объяснить?

Различия в цвете кожи – одно из самых наглядных проявлений эволюции человека как вида.

Когда люди переселяются, их адаптация, обусловленная биологическими и культурными факторами, попросту не успевает «вписаться» в новые условия существования. Светлокотные уроженцы Северной Европы, «жарящиеся» под палящим солнцем Флориды или Северной Австралии, часто расплываются за это преждевременным старением кожи и раком. И наоборот: многие темнокожие уроженцы Южной Азии и Африки, переехавшие в Великобританию, Северную Европу или на северо-восток США, испытывают хронический недостаток УФ-излучения – коварная ситуация, незаметно оборачивающаяся рахитом и прочими недугами, связанными с дефицитом витамина Д.

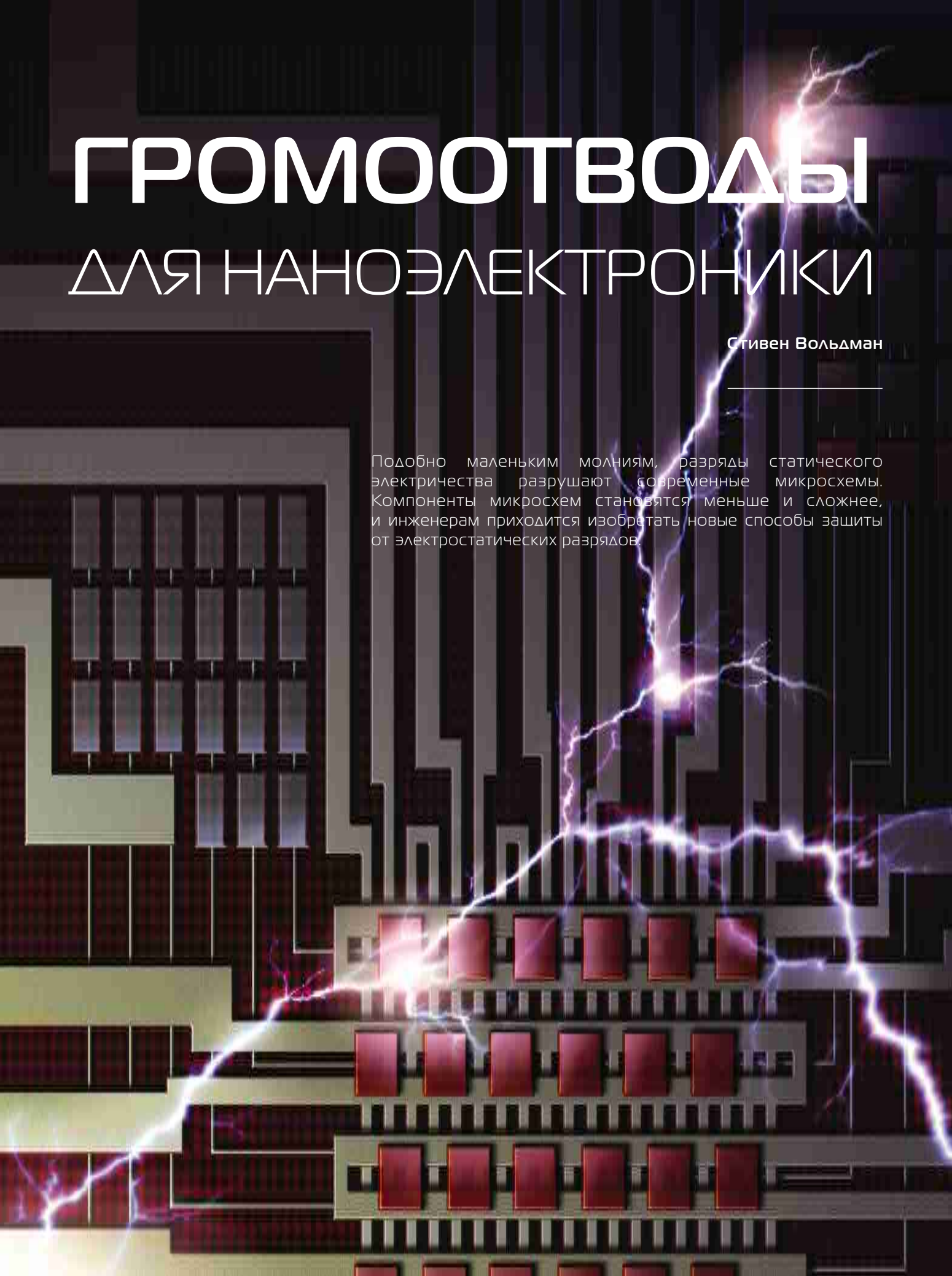
Способность цвета кожи на протяжении длительного времени приспосабливаться к различным условиям

отражает ее огромное значение для нашего выживания. Но ее неустойчивая природа делает этот фактор одним из самых ненадежных критериев при оценке эволюционных взаимосвязей между группами людей. Им неправильно воспользовались первые западные ученые при описании рас, но сила науки как раз и заключается в ее способности исправлять сделанные ошибки. Современные знания об эволюции кожи человека свидетельствуют о том, что различия в ее цвете, как и в большинстве других физических признаков людей, легко объяснить приспособлением к окружающей среде посредством естественного отбора. Наступит время, которое сотрет из нашей памяти следы старых научных заблуждений и заставит людей по-новому взглянуть на свое происхождение и разнообразие. ■

ГРОМООТВОДЫ ДЛЯ НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Стивен Вольдман

Подобно маленьким молниям, разряды статического электричества разрушают современные микросхемы. Компоненты микросхем становятся меньше и сложнее, и инженерам приходится изобретать новые способы защиты от электростатических разрядов.



Электронные устройства становятся миниатюрнее и быстрее. Электростатические разряды препятствуют этим процессам.

Пройдитесь в тапочках по пушистому ковру, прикоснитесь к чему-нибудь металлическому и – щелк! Возникший благодаря трению заряд мгновенно перетекает на другой предмет. Мы чувствуем легкий укол – сущий пустяк по сравнению с тем, что приходится испытывать современной электронике.

В сухую зимнюю погоду несколько шагов по новому ковру могут обернуться разрядом в 35 киловольт. Такое высокое напряжение не опасно для жизни – количество стекающего заряда ничтожно, но достаточно, чтобы вывести из строя нежные электронные детали. Микросхемы становятся миниатюрнее, а значит, и чувствительнее к электростатическим разрядам (ЭСР). Удастся ли найти новые методы борьбы с электростатическими повреждениями и сохранить темп развития электроники?

Любители покопаться в компьютерах знают, что, прежде чем забраться внутрь корпуса, необходимо отвести накопленный заряд. Микропроцессоры и другие чипы имеют встроенные схемы защиты, но для аппаратуры завтрашнего дня дополнительные меры предосторожности будут решающими. Проблема ЭСР возникает уже на стадии производства, начиная от изготовления подложки и заканчивая упаковкой и доставкой деталей к месту сборки готовых систем. Каждый этап связан с определенной электростатической опасностью.

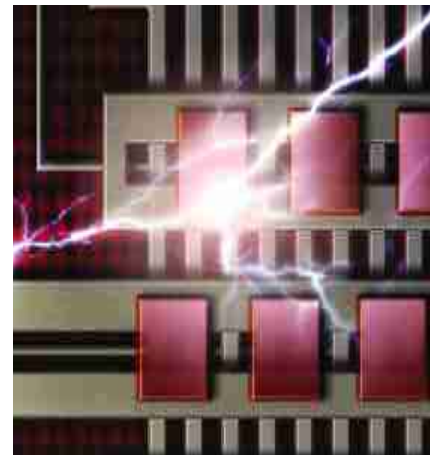
Обычно статическое электричество наиболее опасно в ходе производ-

ства деталей и наладки устройств. Оно почти не создает проблем, когда электронные компоненты успешно смонтированы, к примеру, внутри компьютера, так как некоторые методы защиты действуют только в этом случае. Опасность возникает на самых ранних этапах производства: даже использование фотолитографических масок с чисто механическим принципом действия сопряжено с определенным риском. Главной угрозой для микроэлектроники следует считать разрушение активных элементов вследствие перегрева или электрического пробоя изолирующих слоев. Однако магнитным головкам дисковых накопителей свойственны свои специфические проблемы, связанные с магнитным полем разрядов и аэродинамическими свойствами деталей.

Средства защиты от ЭСР встраивались в микрочипы с 60-х годов и десятилетиями развивались в соответствии с технической необходимостью и корпоративной стратегией. С каждым новым поколением микроэлектроники появляются более миниатюрные и быстродействующие элементы, например, транзисторы. Но скоро промышленность столкнется с проблемой: даже если удастся создать транзистор следующего поколения, то он окажется бесполезным, пока мы не сможем надежно защитить его от ЭСР. Трудно сказать, в какой тупик мы попадем раньше.

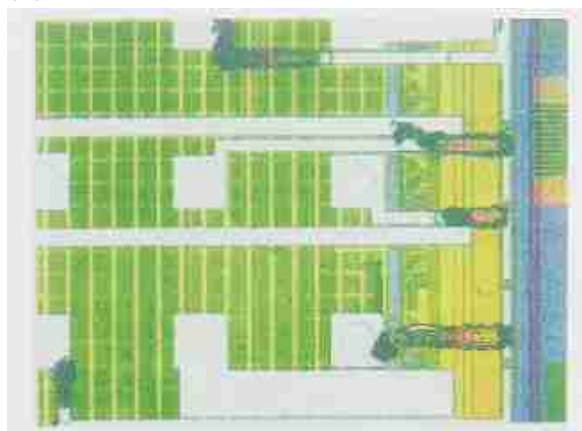
Тепловой удар

Что же разрушает электронику при ЭСР? Главный виновник – выделяемое током разряда тепло, которого достаточно, чтобы расплавить используемые материалы. В момент ЭСР температура внутри микросхемы достигает 1500 °С, что выше точек плавления алюминия, меди и кремния. Повреждения возникают даже до плавления. Свойства диодов и транзисторов зависят от легирования полупроводников: при помощи аккуратно внедренных примесных атомов (диффузантов) создаются области с особыми электронными свойствами. При чрезмерном перегреве диффузанты мигрируют, разрушая четкую структуру этих областей, которая необходима для нормальной работы электронного устройства. ▶



Ток электростатического разряда, проходящий внутри микросхемы по соединительным линиям, способен сжечь их. Алюминиевые проводники обернуты тонким слоем титана, который лучше сцепляется с окружающим диэлектриком. Когда провод перегревается, изолятор трескается, и расплавленный алюминий вытекает на поверхность, как показано на фотографии (а), изображающей КНД-кристалл микропроцессора после разряда напряжением 7 500 В. У современных медных проводников температура плавления выше. Когда провод, расположенный в танталовой канавке, перегревается, слой изолятора над ним трескается (b), и медь пузырится или испаряется (c). При сверхвысоких температурах (порядка 3 017 °С и выше) танталовые стенки плавятся, и проводник растекается (d). (Числа обозначают ширину проводящих дорожек в микронах.)

(a)



(b)



(c)



(d)



Шнурование (концентрация) тока и тепловой пробой осложняют дело, «собирая» тепло в одной точке: когда какая-нибудь область полупроводника существенно нагревается, ее сопротивление падает, и ток начинает течь в основном через горячее место, еще больше нагревая его. Геометрия и пропорции микросхем устройства играют главную роль в обеспечении равномерного протекания тока и предупреждении теплового пробоя. Теплопроводность, теплоемкость и температура плавления материала

в равной степени определяют его способность сосредотачивать в себе или равномерно рассеивать тепло.

В современных устройствах соединительные дорожки, идущие вдоль слоев полупроводника, и вертикальные межслойные контактные отверстия так же важны, как и сложные транзисторы. И те, и другие уменьшаются в размерах наравне со всеми остальными элементами для повышения быстродействия и вычислительной мощности полупроводниковых микросхем. Долгие годы в качестве ма-

териала соединителей использовали алюминий, температура плавления которого составляет всего 660 °С. С 1997 г. в микроэлектронной промышленности стали применять медные соединители главным образом из-за хорошей электрической проводимости меди, позволяющей изготавливать миниатюрные и быстрые схемы. Другое достоинство меди – высокая температура плавления, равная 1 083 °С, обеспечивающая соединителям высокую теплостойкость.

Замена материала изоляторов в новом поколении микрочипов отрицательно повлияла на их чувствительность к ЭСР. Рынок заполнен микросхемами, в которых изолирующие области изготовлены из слабополяризуемых материалов. Благодаря их низкой диэлектрической проницаемости (ε) удастся уменьшить паразитную емкость между проводниками и, следовательно, снизить уровень взаимных наводок и увеличить скорость передачи высокочастотных сигналов и коротких импульсов. К сожалению, теплопроводность слабополяризуемых материалов

ОБЗОР: ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА

* Несколько шагов по ковру способны вызвать высоковольтный электростатический разряд (ЭСР). Современная электроника очень чувствительна к таким разрядам и может быть испорчена ими даже при транспортировке и установке микрочипов.

* Разряды расплавляют металл и кремний и пробивают отверстия в слоях диэлектрика. Современные методы защиты от ЭСР подразумевают использование более стойких материалов и дополнительных накристалльных схем для отвода тока разряда от активных элементов.

* С каждым новым поколением микросхемы становятся меньше и чувствительнее, а защита их от ЭСР превращается в сложную задачу. Когда она станет нерешаемой, дальнейшая миниатюризация и повышение производительности станут невозможными.

меньше, чем у двуокиси кремния (традиционного диэлектрика), поэтому они хуже отводят тепло, выделяемое при статических разрядах. Это приходится компенсировать тщательной проработкой схемы, применением широких соединительных проводников и другими способами снижения нагрева. Использование меди вместе со слабополяризуемыми диэлектриками повысило устойчивость чипов к электростатическим разрядам, сыграло важную роль в развитии гигагерцовых устройств.

Обратимся теперь к транзисторам – «рабочим лошадкам» микросхем. Сегодня в основе цифровых технологий лежат полевые МОП-транзисторы (канальные полевые униполярные транзисторы со структурой затвора «металл-окисел-полупроводник»). Обычная МОП-структура состоит из истока и стока – двух легированных областей, разделенных так называемым каналом. Электрод, называемый затвором, расположен над каналом и отделен от него тонким изолирующим слоем двуокиси кремния. Напряжение на затворе управляет силой тока, протекающего по каналу между истоком и стоком.

Последние поколения таких устройств изготавливались уже по нанотехнологии. К примеру, в августе 2002 г. компания *Intel* объявила о своих планах освоить производство микросхем с затворами длиной 50 нм и толщиной оксида 1,2 нм – всего пять атомных слоев. Чем тоньше изолятор, тем меньше пробойное напряжение. Пробой диэлектрика обуславливается не перегревом, а носителями заряда (электронами или дырками), которые разрывают молекулярные связи и пробивают изолятор, подобно крохотным молниям. Такие дефекты оксида называют проколами. Использование сверхтонких слоев диэлектрика чревато возникновением проколов в затворах.

Сток и исток тоже чувствительны к ЭСР, которые при попадании в эти области приводят к тепловому пробую транзистора. Когда высокое напряже-

Создание выносимых лазеров и светодиодов

Полупроводниковые лазеры и светодиоды применяются повсеместно – от супермаркетов до больших дисплеев. Хотя эти детали изготавливаются из тех же материалов, что и микропроцессоры, интеграция устройств защиты от ЭСР в полупроводниковую подложку в данном случае стоит неоправданно дорого. Стоимость единицы площади – самая важная характеристика дисплеев. При этом дисплейные светодиоды делают компактными и располагают их как можно теснее, практически не оставляя места для цепей защиты от ЭСР, а электростатическую уязвимость расценивают как приемлемое допущение. Поэтому при изготовлении светодиодов стараются использовать наиболее устойчивые к ЭСР материалы, поиску которых уделяется большое внимание.

Дэвид Кронин (David V. Cronin) изобрел механический способ защиты от разрядов, возникающих в процессе установки лазерных диодов. Пока диод не вставлен в гнездо, его ножки закорочены стальной пружинкой на металлический корпус (см. фото). Попадающие на выводы диода ЭСР стекают на корпус и не попадают на полупроводниковый элемент. Когда лазерный диод вставляют в гнездо, пружинка отходит от ножек.



ние разряда попадает, скажем, на сток, вокруг него возникает мощное электрическое поле. Оно ускоряет токонирующие электроны, сообщая им достаточно энергии, чтобы выбить и освободить другие электроны. За счет вторичных электронов (и соответствующих им дырок) сила тока увеличивается, разгоняя их и приводя к освобождению еще большего количества носителей заряда. Этот процесс, получивший название «лавинное умножение», сопровождается утечкой тока в подложку и переходом транзистора в нестабильное состояние с отрицательным сопротивлением, которое только ухудшает ситуацию. По мере возрастания тока возникает тепловой пробой, описанный выше.

Основной способ защиты транзисторов – включение в микрочипы схем защиты от ЭСР, отводящих токи разрядов в нулевой или в питающий электроды. Далее эти токи по шинам питания стекают в заземление.

В 60-х и 70-х гг. для защиты от электростатических разрядов использовались кремниевые выпрямители, а в 80-х и 90-х – мощные МОП-транзисторы. Их делают более выносимыми, так как быстрое действие для них несущественно. И все же такие схемы защиты снижают производительность и превращают оптимизацию каждой новой микросхемы в адский труд.

Сейчас самым распространенным устройством защиты от ЭСР стал кремниевый p-n диод, который в отличие от защитных транзисторов такого же размера способен выдержать больший разряд: слабое место транзисторов – необходимость протекания тока по узкому каналу и опасность пробоя в изоляторе затвора. Широко используемая КМОП-структура (комплементарная структура «металл-окисел-полупроводник») включает в себя пригодный для отвода тока ЭСР p-n диод, который соединяет МОП-транзистор с подложкой ▶

Пробой диэлектрика

(a) Тонкие изолирующие слои уязвимы для пробоя: достаточно сильное электрическое поле создает в них проколы – цепочки молекулярных дефектов, которые, подобно молниям, насквозь пронизывают диэлектрик.

(b) Поскольку напряженность электрического поля – это напряжение (V) на единицу длины, то в более толстом слое она меньше, а значит, этот слой менее подвержен пробую.

Лавинное умножение

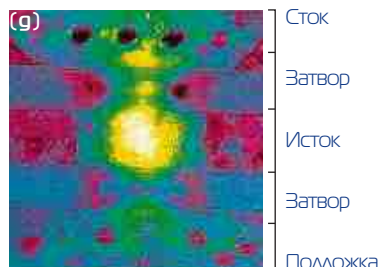
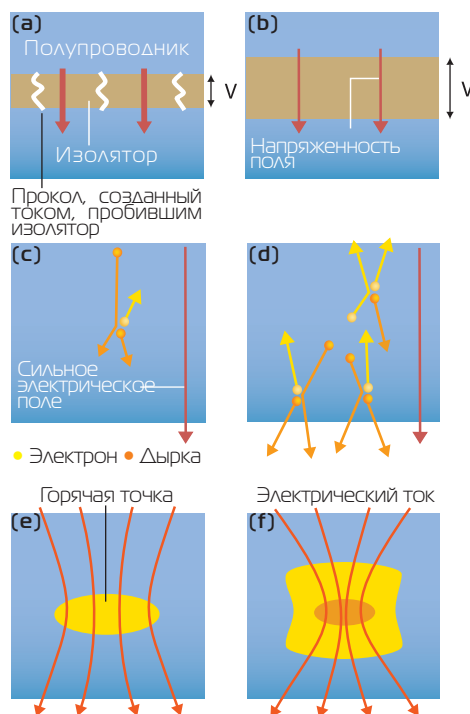
(c) Лавинное умножение возникает в полупроводнике под воздействием мощного электрического поля, ускоряющего электроны до такой степени, что они выбивают другие электроны. Освобожденные электроны и соответствующие им дырки увеличивают силу тока.

(d) Поле ускоряет вновь возникшие носители заряда, которые выбивают еще больше электронов, и так далее по нарастающей. В результате сила тока достигает очень большой величины.

Шнурование электрического тока

(e) С ростом температуры сопротивление полупроводника падает, поэтому если какая-то его область существенно нагревается (обозначена желтым), то основной ток течет именно через нее (так называемое шнурование тока).

(f) Сконцентрированный ток усугубляет нагрев (обозначено оранжевым), который, в свою очередь, приводит к еще большему шнурованию тока.



Пробой полевого транзистора

(g) На полученном при помощи электронного микроскопа изображении полевого транзистора, поврежденного электростатическим разрядом, отчетливо видны последствия шнурования тока. Цвета отражают высоту полупроводника. Обширная зелено-желтая область – результат выброса расплавленного кремния.

кристалла. Не составляет особого труда включить в эту структуру дополнительные p-n диоды, ведущие к подложке, но это не снимает проблему оптимизации.

Примерно с 1995 г., когда ширина проводников в микросхемах стала меньше 250 нм, для окончательного отвода разрядного тока от шин питания к заземлению стали применяться так называемые фиксаторы питания. Некоторые из них выделяют разрядные импульсы из сигнала с помощью простых частотных фильтров, другие ориентируются на высокое напряжение разряда. Выделенный импульс включает мощные транзисторные схемы, надежно отводящие разрядный ток в заземление. Когда-то низкое быстродействие транзисторов

не позволяло им реагировать на высокочастотную составляющую импульсов ЭСР, лежащую в гигагерцовой области спектра. Современные СВЧ-транзисторы избавились от этого недостатка.

Теперь в каждом микропроцессоре и во многих других электронных устройствах, таких, как микросхемы СВЧ, используются схемы защиты от ЭСР и фиксаторы питания. С появлением каждого нового поколения еще более миниатюрных микросхем разработка таких устройств становится сложнее, так как они тоже должны уменьшаться в размерах и при этом обеспечивать более надежную защиту транзисторов, по возможности не ухудшая все возрастающую производительность последних.

Кремний на диэлектрике

В микроэлектронной технологии «кремний на диэлектрике» (КНД) не удастся использовать традиционные для МОП-структур методы защиты от ЭСР. Эта технология обеспечивает более высокое быстродействие за счет уменьшения паразитных емкостей транзисторов (вспомним, что и в металлических проводниках паразитные емкости снижают скорость прохождения сигналов). В КНД-устройствах активные элементы располагаются в тонкой кремниевой пленке, отделенной от подложки слоем диэлектрика. Наличие изолирующей пленки препятствует использованию вертикальных диодов, отводящих ток разряда в подложку. Единственный выход – создать аналогичные планарные струк-

туры в тонкой пленке кремния. В 1994 г. начались исследования в этом направлении. Считалось, что создать надежные средства защиты от ЭСР в рамках КНД не удастся. Но в 2000 г. компания IBM наладила серийный выпуск микропроцессоров, выполненных по этой технологии. В них планарные р-п диоды, соединяющие сигнальные шины с шинами питания, обеспечили прекрасную защиту от ЭСР. Такая методика может успешно применяться и в будущих сверхтонких устройствах, у которых толщина кремниевой пленки составит всего 20 нм.

КМОП-системы отлично подходят для цифровых микросхем, потому что в состоянии «0» они потребляют мало энергии, а в состоянии «1» хорошо проводят ток. Они не столь приспособлены для использования в устройствах высокоскоростного обмена информацией, таких, как сотовые телефоны, ноутбуки и карманные компьютеры, подключаемые к Интернету проводами или беспроводным способом. Ближайшие десять лет рынок таких устройств будет расти, а их быстродействие приблизится к 100 ГГц. Разумеется, потребуется создать еще более скоростные и миниатюрные микросхемы, которые, соответственно, будут чувствительнее к ЭСР. (СВЧ КМОП-устройства работают в диапазоне частот от 1 до 10 ГГц и пока не преодолели десятигигагерцовый барьер.)

В высокочастотной технике находят применение вытесненные когда-то МОП-структурами биполярные транзисторы, возвращающиеся на рынок благодаря применению новых материалов, в частности кремний-германия (SiGe) и арсенида галлия (GaAs). В биполярных транзисторах, в отличие от полевых, ток между двумя областями – эмиттером и коллектором – управляется слабым током небольшой промежуточной области – базы. Характеристика полупроводника, получившая название «ширина запрещенной зоны», определяет, насколько материал близок к проводнику или диэлектрику. Подбирая ширину запрещенной зоны, можно соз-

ИСКРЯЩАЯСЯ ФОТОМАСКА

Фотолитографические маски определяют, где и какие материалы располагаются в каждом слое микросхемы, и их работоспособность в условиях микромасштабов необходима для дальнейшей миниатюризации. Как это ни удивительно, статическое электричество вредно для фотомасок, хотя принцип их действия чисто механический.

Последние исследования Джулиан Монтоя (Julian Montoya) из Intel и Арнольда Штайнмана (Arnold Steinman) из Ion Systems (Беркли, штат Калифорния) показали, что маскирующие фигуры могут накапливать заряд и затем разряжаться на «соседей», разрушая маску (см. фото). Если расстояние между линиями велико, то пробой между ними наступает при более высоком напряжении и сопровождается хорошо заметными повреждениями. Между близко расположенными линиями могут возникать низковольтные разряды, приводящие к дефектам, которые трудно выявить на стадии контроля фотомаски. Это ведет к выпуску бракованных микросхем.

Практические методы обеспечения надежности фотомасок включают повышение влажности и ионизацию воздуха (это помогает рассеять заряд) в процессе изготовления, а также предотвращение накопления заряда на используемом оборудовании. Сами маски могут быть изготовлены из рассеивающих материалов, с которых заряд постепенно стекает, не успевая достичь опасного уровня. Многое еще предстоит узнать о механизме разряда и о вызываемых им повреждениях маски.

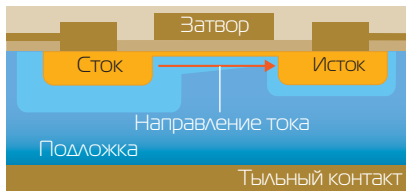
дать транзистор, который будет в 100 раз быстрее кремниевого. Конструкторы регулируют ширину запрещенной зоны в области базы биполярного кремний-германиевого транзистора, изменяя концентрацию германия. Транзисторы, состоящие из полупроводников с разной шириной запрещенной зоны, называются биполярными транзисторами с гетеропереходом. (В 2000 г. Герберт Кремер (Herbert Kroemer) получил Нобелевскую премию по физике за свои ранние разработки таких транзисторов.) Кремний-германиевые транзисторы широко используются в высокочастотных осциллографах, сотовых телефонах,



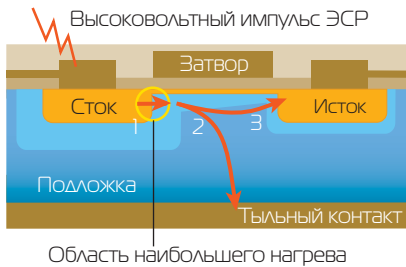
Один из основных европейских производителей вынужден был приостановить выпуск полупроводниковых микросхем из-за электростатического разрушения фотомасок. Паразитная дорожка образована оксидом хрома.

устройствах Глобальной системы навигации (GPS) и в высокоскоростных системах связи.

Преимущества кремний-германия и КМОП-технологии можно объединить, разместив биполярный транзистор на поверхности обычного кремниевого КМОП-слоя. Методы защиты полученного устройства от электростатических разрядов очень схожи с методами, используемыми в КМОП-технологии: диоды, образующие кремний-германиевый биполярный транзистор, отводят от него разрядный ток, в то время как обычные диоды и МОП-транзисторы служат для защиты КМОП-структуры.



При нормальной работе полевого транзистора ток течет по тонкому каналу между стоком и истоком. Сила тока регулируется напряжением, приложенным к затвору.



Когда высокое напряжение разряда попадает на сток, стоковый ток резко возрастает вследствие лавинного умножения (1) и течет через подложку к тыльному контакту (2). Напряжение подложки изменяется до тех пор, пока транзистор не разблокируется. Тогда ток снова начинает течь к истоку (3). Наибольший нагрев, как правило, претерпевает место сопряжения стока и канала.

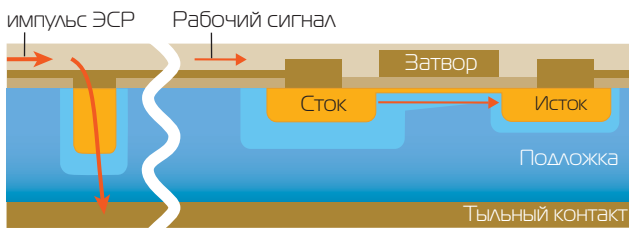
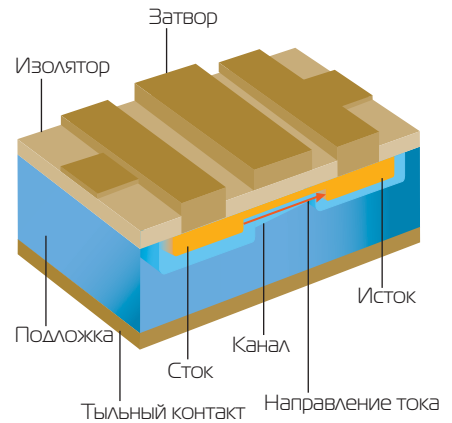


Схема защиты от ЭСР должна отводить разрядные импульсы, прежде чем они достигнут транзистора. Такая схема не должна влиять на прохождение рабочих сигналов и состояние активных элементов.

Описанные методы успешно применяются вплоть до 100 ГГц, но что нас ждет на более высоких скоростях? (IBM уже продемонстрировала лабораторные экземпляры транзисторов, рассчитанных на 200 ГГц, и наладила выпуск транзисторов на 120 ГГц.) Возможно, для скоростей в несколько сот гигагерц придется изобретать принципиально новые методы защиты от ЭСР.

Другая гетеропереходная технология основана на применении арсенида галлия, обладающего лучшими электрическими параметрами, чем кремний. Физики используют сверхчистый арсенид галлия для изучения квантового эффекта Холла и других экзотических феноменов. Этот материал применяется в усилителях мощности мобильных телефонов, в электронно-оптических переходниках, стыкующих электронные схемы с оптоволоконными линиями, а также в аппаратуре искусственных спутников Земли и межпланетных зондов.

Обычное КМОП-устройство тяжело изготовить из арсенида галлия, так как у этого материала, в отличие от кремния, нет естественных окислов, пригодных для создания изолирующих слоев. Отсутствие такого оксида также препятствует использованию тех методов защиты от ЭСР, которые успешно применяются в кремниевых, КНД и кремний-германиевых структурах. В результате арсенид-галлиевые устройства оказываются весьма чувствительными к ЭСР: не многие из них уцелеют после прикосновения человека, несущего на себе всего лишь киловольт-вольтный заряд, не говоря уже о нескольких десятках киловольт, возникающих на теле после нескольких шагов по ковру.

Искровые разрядники

Защита от ЭСР имеет большое значение для космической аппаратуры, на поверхности которой статический заряд создается такими источника-

ми, как околоземные пояса Ван Аллена и солнечный ветер. Высокоэнергетичные электроны способны проникать внутрь космических аппаратов и формировать статический заряд на поверхности монтажных плат внутри приборов. Разработка эффективных средств защиты арсенид-галлиевой аппаратуры от ЭСР – задача не из легких, но от ее решения зависит судьба будущих космических экспедиций.

Примерно десять лет назад Карлхайнц Бок (Karlheinz Bock), тогда еще работавший в Дармштадтском университете в Германии, продемонстрировал новый метод защиты арсенид-галлиевых микросхем, основанный на автоэмиссии в искровых разрядниках. Каждый разрядник представляет собой вытравленный в арсениде галлия конус, между вершиной которого и слоем материала имеется воздушный зазор. Напряжение статического

разряда создает на острой вершине конуса мощное электрическое поле, которое вызывает искрение в воздушном зазоре, снимающее это напряжение. Автоэмиссионные средства защиты от ЭСР имеют целый ряд преимуществ по сравнению с диодными и транзисторными схемами. Во-первых, они обладают малой емкостью и поэтому слабее влияют на работу прибора. Во-вторых, что важнее, они способны многократно разряжать большие токи. Когда искровые разрядники выйдут из лабораторий и станут применяться на практике, они обеспечат надеж-

ную защиту от ЭСР в арсенид-галлиевых усилителях мощности и в космической аппаратуре.

Дальнейшее уменьшение размеров и увеличение быстродействия полупроводниковых приборов может заставить нас отказаться от традиционных методов защиты от ЭСР. Возможно, искровые разрядники найдут применение не только в арсенид-галлиевых устройствах. А может, удастся использовать новые материалы для изготовления более надежных транзисторов и с помощью внешних приспособлений исключить возможность возникновения ЭСР в нанoeлектронике.

Когда в VI в. до н. э. Тал Милетский изучал электростатические заряды, он и не предполагал, что через 26 веков они будут определять надежность техники, а мы будем бороться с электростатикой. Механизмы заряда и разряда полупроводников, магнитных головок, фотомасок и других наноструктур еще долго будут в центре внимания исследователей и разработчиков. По мере уменьшения размеров электронных устройств и дальнейшего изучения электростатики будут появляться все новые схемы защиты от ЭСР. ■

ОБ АВТОРЕ

Стивен Вольдман (Steven H. Voldman) занимается проблемой электростатического разряда (ЭСР) и входит в группу разработчиков кремний-германиевых устройств компании IBM в Берлингтоне, штат Вермонт. В студенческие годы он принимал участие в разработке магнитных зеркал для удержания плазмы в лаборатории высоких напряжений Массачусетского технологического института. Стивен исследовал электростатические явления, наблюдаемые в КМОП, КНД и кремний-германиевых полупроводниках, а также в накопителях на магнитных дисках. Он отвечал за разработку магниторезисторные головки схем защиты от ЭСР для мощных микропроцессоров и других полупроводниковых микросхем. Обладатель 100 патентов США, он был признан лучшим изобретателем IBM в 1998, 2000 и 2001 гг. На досуге Стивен любит поиграть в хоккей.

БЕЗ ЛУКАВСТВА

Александр Орликовский, член-корреспондент РАН, зам. директора по научной работе Физико-технологического института РАН

«Проблема электростатического электричества хорошо известна. Инженеры всегда справлялись с ней при производстве интегральных схем, при проектировании аппаратуры на интегральных схемах, при сборке и эксплуатации аппаратуры. Нужно отметить, что по содержанию статья «Громоотводы для нанoeлектроники» вполне оптимистична, но неискушенный читатель может решить, что проблема ЭСР несет в себе некие принципиальные ограничения дальнейшего уменьшения размеров транзистора в интегральных схемах. Это не так. МДП-транзистор оказался самым устойчивым к уменьшению размеров полупроводниковым прибором. Приблизительно к 2015 г. длина канала МДП-транзистора достигнет 10 нм, и это не предел. Процессоры на таких транзисторах будут содержать десятки миллиардов КМДП-вентилей (логических элементов) на одном кристалле. Действительно, толщина оксида кремния при столь коротких длинах затвора меньше 1 нм. Но автор лукавит, так как знает наверняка, что это так называемая эквивалентная толщина. Реально подзатворный диэлектрик, в данном случае, является двухслойным, например, сверхтонкий диоксид, а над ним более толстый диэлектрик с высокой диэлектрической проницаемостью, например, двуокись циркония. Это пример блестящей инженерной мысли: вроде бы диэлектрик сверхтонкий, а реально он остается достаточно толстым, чтобы туннельный ток был ничтожно мал, а напряжение пробоя оставалось достаточно большим. Природа позволила преодолеть эту трудность. Автор явно нагнетает и проблему теплового удара. Ведь тепловые процессы инерционны. Это по крайней мере – минуты, а электростатический разряд – секунды. Кроме того, даже для схем столь высокой сложности на столь малых транзисторах проблема защиты от ЭСР будет решена. Природа это позволяет. Академик К. А. Валиев однажды заметил: – «Если природа позволяет сделать нечто нужное для человечества, человек это обязательно сделает».

Если впасть в панику, то тогда стоит беспокоиться о квантовых компьютерах. Твердотельный прототип квантового компьютера строится на отдельных атомах, ядра которых выполняют роль отдельных логических элементов – кубитов.

ЭНЦИКЛОПЕДИЯ

ДЛЯ ДЕТЕЙ

Москва, «Аванта+»



Насыщаемость книжного рынка научно-популярными изданиями для детей и подростков ничуть не упрощает жизнь покупателям. Скорее наоборот – сложно выбрать качественную, содержательную и наполненную достовер-

ной информацией литературу. В этом смысле «пионеры» детской просветительской литературы – Издательское объединение «Аванта+», в 1993 выпустившее первый том «Энциклопедии для детей», неизменно лидирует на рынке образовательной литературы России.

Сегодня «Энциклопедия для детей» – это 34 великолепно иллюстрированные книги, охватывающие практически всю сферу человеческих знаний: математику, астрономию, физику, географию, историю, литературу, искусство, политику, экономику, религию, спорт, биологию, экологию...

Тома «Энциклопедии для детей» рекомендованы Министерством образования РФ, Международным центром обучающих систем и Международной кафедрой-сетью ЮНЕСКО в качестве дополнительного учебного пособия, а их общий тираж уже превысил 10,5 млн экземпляров.

В конце 2002 года фундаментальная серия «Энциклопедия для детей» «Аванта+» отмечена премией президента России в области образования.

Авторы энциклопедии – выдающиеся российские ученые и ведущие специалисты в различных областях человеческой деятельности. «Энциклопедия для детей» отличается простотой и доступностью изложения даже самого сложного учебного материала. Важные для подростка знания даются не в готовом виде, а путем вовлечения его в познавательный процесс. Часто самый привычный школьный предмет раскрывается по-новому, рассматривается с разных сторон. Тома регулярно дорабатываются и пополняются последними данными. В этом году ожидается выпуск новых книг: «Информатика», «Космонавтика», «Профессии». Словом, «Энциклопедия для детей» «Аванта+» продолжается.

ГЛОБАЛИСТИКА

Международный междисциплинарный энциклопедический словарь.

Москва, «Радуга»

Фундаментальное справочное издание, осуществленное Центром научных и прикладных программ «Диалог» при поддержке Российского философского общества, Российской экологической академии и международной общественной организации «Обеспокоенные философы за мир», выйдет в свет в апреле 2003 г.

Авторский коллектив превышает 400 человек. Над словарем работали ученые из 28 стран (России, США, Германии, Украины, Белоруссии, Китая, Японии, Великобритании, Индии, Киргизии и др.) Составителями и соредакторами словаря являются д.т.н., профессор И. И. Мазур и д.ф.н., профессор А. Н. Чумаков, а также соредактор английского издания

д-р философии, профессор У.Эй (США).

Тематика (равно как и словник) издания охватывает все значимые теории, факты, явления и имена, имеющие отношение к нынешней планетарной реальности. Все авторские статьи написаны специально для данного издания. В конце книги дается рубрикатор, в котором названия статей собраны по восемнадцати темам: биосфера; глобальные опасности, международный терроризм; глобальные проблемы; демография, здравоохранение; инженерная экология и техногенез; история и исследования будущего; климат, океан, космос; культура, цивилизация, наука и техника; образование и воспитание; общественные движения, международные

организации; общество, социология, право; права человека, политика, дипломатия, военные аспекты, глобализация, устойчивое развитие, урбанизация, сельское хозяйство; философия, религия, этика; экология; экономика, ресурсы, природопользование; персоналии.

В качестве приложения к словарю дается новейшая информация о странах, населении, запасах природных ресурсов, производстве энергии, состоянии мировых финансов, о крупнейших транснациональных корпорациях, об индексах бирж и т. п.

А. В. Каура, к.ф.н., член редакционного совета словаря.



ЮНЫЙ ЭРУДИТ:

научно-популярный журнал для детей!

Продолжая лучшие традиции детской научно-популярной периодики, журнал имеет вполне современный облик. «Юный эрудит» знакомит ребят 10–14 лет с самыми интересными фактами окружающего мира. Гармоничное сочетание увлекательно и доступно написанных текстов с многочисленными полноцветными иллюстрациями делают издание поистине уникальным. Каждый месяц журнал рассказывает читателям об истории и сегодняшнем дне науки и техники, выдающихся ученых и первооткрывателях. Специальные рубрики посвящены самым интересным техническим проектам нового тысячелетия, современным компьютерным и авиакосмическим технологиям, загадкам живой природы, прогнозированию будущего, устройству машин и механизмов. Кроме того, ребят ждут логические игры, головоломки, лабиринты и, конечно же, конкурсы.

«Юный эрудит» издается в сотрудничестве с редакцией французского журнала *Science & vie junior* («Наука и жизнь для подростков»). Это издание является «младшим братом» ведущего научно-популярного журнала Франции «Наука и жизнь», адресованного взрослой аудитории. Благодаря сотрудничеству с французской редакцией самые интересные материалы *Science & vie junior* публикуются в России на страницах «Юного эрудита». При этом «Юный эрудит» отнюдь не является русскоязычным вариантом иностранного издания. «Юный эрудит» – это российский журнал со своим лицом, своим стилем и своей аудиторией, которая, как надеются в издательстве «Эгмонт Россия», будет постоянно расти.

Подписной индекс 81751

(по каталогу «Роспечать» за 2003 г.)

Считается, что нынешнее поколение подростков лениво и нелюбопытно. Считается, что наших детей захлестнула волна масс-культы, и кроме компьютерных игр, комиксов и подробностей из жизни звезд эстрады их больше ничего не интересует. «Это не так. Так быть не может и не должно», – решили в издательстве «Эгмонт Россия», и в сентябре 2002 г. выпустили в свет первый номер журнала о науке и технике для детей «Юный эрудит».

СОЮЗ ТЕХНОЛОГИЙ

Читайте в журнале

- ЮКОС – совершенные технологии нефтедобычи, бизнес-технологии, методы конкурентной борьбы.
- Об отношениях между Россией и США и возможностях сотрудничества. Чем мы можем удивить и заинтересовать американцев?
- Об опыте американских социальных технологий.
- Выдающийся философ, лауреат Нобелевской премии Луис Ортега отвечает на вопросы журнала, в том числе и о клонировании человека.

А также:

- Рекламные технологии в России как преломление и конкретизация социальных. Решение общественных проблем с помощью социальной рекламы. Проблемы в законодательстве.
- Четвертый на *Apollo*. Москвич, инженер-строитель. А. Марков – крупнейший знаток Лунной программы и аналитик Америки 60-х годов.
- Силиконовая долина.
- Интервью с директором ОИЛИ В. Кадишевским о синтезе сверхтяжелых элементов.
- Жизнь в приграничных областях: на Чукотке и на Аляске. Сходство и различие.



В БОРЬБЕ ЗА НАШИ ГЛАЗА

Марк Фишетти

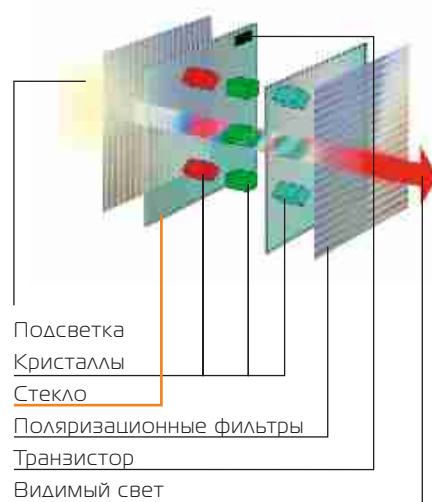
Плазменные телевизоры стали символом современного благополучия. Несмотря на высокую стоимость – от \$5 000 и выше, – быстро раскупаются. Экраны ТВ настолько тонкие, плоские и яркие, что их можно просто вешать на стену, как картину. Неуклюжий «ящик» превращается в изысканный предмет интерьера.

Толщина современных плазменных телевизоров с диагональю 42, 50 и 60 дюймов составляет от 7 до 12 см. По разрешению и яркости изображения они не уступают традиционным ТВ с электронно-лучевыми трубками. Помимо главного недостатка – высокой стоимости, у таких телевизоров есть и другие слабые стороны. Устройство потребляет много энергии и сильно нагревается, так как для возбуждения газа, заключенного между двумя стеклянными пластинами, требуется высокое напряжение – от 160 до 200 В. По словам Питера Путмана (Peter H. Putman), специалиста по дисплеям и президента фирмы *Roam Consulting* в Дойлстауне, плазменные экраны подвержены выгоранию – после 10 лет эксплуатации изображение теряет контрастность.

Сегодня плазменные телевизоры стали хитом, но у них есть серьезный соперник. Тонкие и легкие жидкокристаллические дисплеи меньше нагреваются, да и стоят дешевле. Но и у них, как считает вице-президент фирмы *Zenith* по технологиям Ричард Льюис (Richard M. Luis), есть недостатки. При просмотре под определенным углом изображение искажается, а размер диагонали ограничен 36 дюймами. Таким образом, плазменные экраны

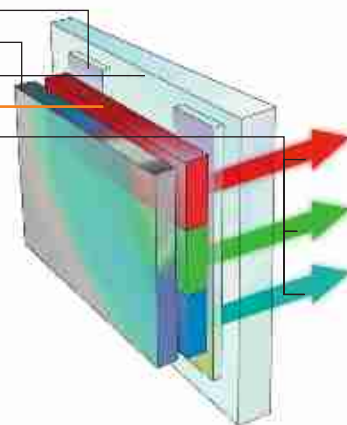
завоюют рынок широкоформатных телевизоров, поскольку предел диагонали ТВ с электронно-лучевыми трубками составит 40 дюймов. Льюис отмечает, что дальнейшее увеличение диагонали приведет к усложнению производства кинескопов, которые станут длиннее, из-за того, что электронная пушка должна устанавливаться как можно дальше от экрана.

А может быть, будущее за органическими светодиодами (ОСД) – тонкими полимерными пленками, свечение которых формирует изображение? Путман рассказал, что *Du Pont* и *Samsung* уже начали изготавливать экраны из ОСД толщиной 3 мм, причем, некоторые из них обладают гибкостью пластика. Размер таких экранов пока не превышает нескольких дюймов, но они уже используются в сотовых телефонах и карманных играх. «Пока рано говорить, какая из технологий станет лидером, – говорит Путман. – Но электронно-лучевые трубки обречены». ■



Свет от лампы подсветки проходит через матрицу крохотных пикселей, заполненных жидкими кристаллами. Тонкопленочный транзистор подает на каждый пиксел напряжение, поворачивающее кристаллы на определенные углы, которые определяют интенсивность красного, зеленого и синего цветов в проходящем сквозь пиксел свете.

- Анод
- Катод
- Стекло
- Полимер
- Видимый свет

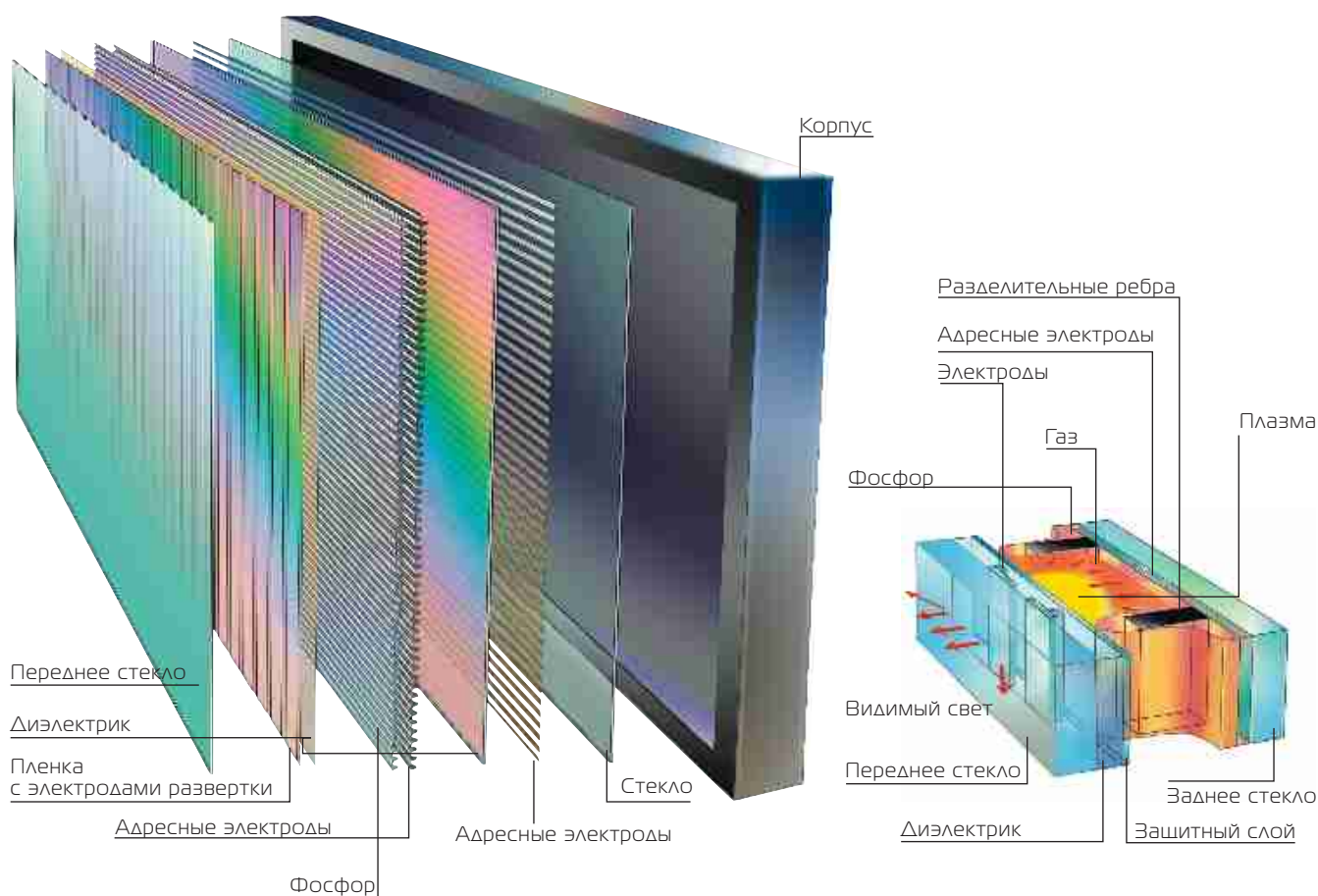


Маталлический анод, органический полимер и металлический катод располагаются на гибкой стеклянной подложке и образуют пиксел. Ток анода и катода заставляет электроны и дырки проникать в полимер и сталкиваться там друг с другом, вызывая красное, зеленое или синие свечение полимера.

ЗНАЕТЕ ЛИ ВЫ...

• **ИССЛЕДОВАНИЯ – ЭТО ЕЩЕ НЕ ПРОИЗВОДСТВО:** Большинство исследований по разработке сверхтонких дисплеев проводилось в США, но первые промышленные образцы представили заморские компании. По словам Путмана, идея по созданию плазменного экрана была разработана еще в 1964 г. Университетом штата Иллинойс совместно с Owens-Illinois, IBM и Plasmaco. Тем не менее именно азиатские компании, такие, как Fujitsu, Sony и Samsung, сформировали рынок плазменных дисплеев в конце 90-х. Первые прототипы жидкокристаллических панелей были созданы американской компанией RCA в 60-х, но коммерческое применение они получили в калькуляторах фирмы Sharp Electronics в начале 70-х.

- **РАЗМЕР ИМЕЕТ ЗНАЧЕНИЕ:** Фирма Zenith выпускает плазменные телевизоры с диагональю 40 дюймов, толщиной корпуса 8 см, которые весят 33 кг. Телевизоры этой фирмы с обычным кинескопом и диагональю 36 дюймов весят 68,5 кг и имеют глубину 61 см. При этом они примерно на \$3 000 дешевле.
- **ВЫГОДНОЕ ПРИОБРЕТЕНИЕ:** Трудно мотивировать высокую цену первых моделей плазменных телевизоров. А вот журналист The New York Times Рик Марин (Rick Marin) придумал. Когда он увидел, что Sony «снижает» цену на свой плазменный телевизор с диагональю 42 дюйма до \$7 999, то решение пришло само собой. «В моей квартире 1 кв. м стоит \$4 000, – пишет Рик о своем манхэттенском жилище. – Если я повешу на стену плазменный телевизор, то смогу высвободить 2 м. кв., то есть целых \$8 000. Купив эту штуковину, я сэкономлю целый домар!»



ПЛАЗМЕННЫЙ ДИСПЛЕЙ

Напряжение подается на электроды, между которыми возникает электрический разряд, создающий плазму в неоне или ксенеоне. Плазма порождает вспышку ультрафиолетового излучения, которое заставляет фосфор светиться красным, зеленым или синим светом. Для снятия с ячейки остаточного заряда и подготовки к следующему циклу полярность меняется. Каждый пиксел состоит из трех соседних ячеек красного, зеленого и синего цвета. Количество пикселей на экране может достигать миллиона.

КОМПЬЮТЕРЫ ДЛЯ ТРЕТЬЕГО МИРА

Симпьютер – портативное устройство для сельских жителей.

Фиона Харви

Он выглядит несолидно: серый пластиковый корпус 12x7 см, черно-белый экран 7x5 см. Но этот маленький компьютер может стать «первой ласточкой» в странах третьего мира.

Устройство известно под названием симпьютер (simputer). Мне представилась возможность испытать один из образцов, собранных в *Simputer Trust* – некоммерческой организации, базирующейся в городе Бангалор в Индии. Компания *Encore Software* из Бангалора (не следует путать ее с одноименной компанией по разработке программного обеспечения в Калифорнии), по-

лучив лицензию на технологию от *Simputer Trust*, планирует продавать тысячи таких портативных устройств.

Симпьютер – «простой недорогой многоязычный компьютер» – был разработан для сельских жителей Индии, Малайзии, Нигерии и Индонезии, многие из которых безграмотны и никогда не видели компьютера. В комплекте с программным обеспечением он будет стоить около \$250–\$300. Сумма велика, если учесть размер ежегодного дохода на душу населения. Однако один симпьютер обеспечит целой деревне выход в Интернет, даст возможность осу-

ществлять сделки, следить за ценами на сельхозпродукты и учить детей. Шреяс Пател (Shreyas Patel), консультант компании *Encore*, проводившей испытания симпьютера в Восточной Африке, заявляет, что так самые отдаленные общины получают доступ к вычислительным средствам.

Симпьютер был задуман группой ученых-компьютерщиков в Институте науки Индии в Бангалоре как дешевое устройство, которое можно продавать в бедных регионах. В качестве микропроцессора используется Strong-ARM компании *Intel*, известный своим низким энергопотреблением. Устройство будет иметь 64 мегабайта оперативной памяти и 32 флэш-памяти и модем для присоединения к телефонной линии. Кроме того, используется операционная система *Linux*, которая, в отличие от *Windows*, распространяется бесплатно.

Подобно устройствам *Palm*, *Visor* и другим цифровым личным помощникам (PDA), симпьютер снабжен сенсорным экраном. Он не имеет клавиатуры и программного обеспечения для распознавания рукописного текста, поэтому пользователь подбирает пиктограммы и вводит информацию специальным пером. Однако некоторые приложения позволяют выбирать буквы или цифры на сгенерированной программой клавиатуре, которая высвечивается на экране. Кроме того, программа *Tapatap* выводит на экран решетку размером три на три ячейки, и пользователь может вводить буквы или числа, касаясь пером ячеек в определенной последовательности. Приложения, предусмотренные в симпьютере, специально разработаны таким образом, чтобы к минимуму свести необходимость вводить текст.

Сельскохозяйственные рабочие в Боларе (индийской деревне, расположенной к юго-западу от Бангалора), осваивают программу обучения грамоте на симпьютере. Используя способность устройства преобразовывать текст в речь, жители деревни могут учиться читать на местном языке каннада.





Опытный образец симпьютера снабжен черно-белым экраном и встроенными динамиками. Компания Encore Software из Бангало-ра планирует продавать такие устройства по \$250.

Но как неграмотные люди сумеют пользоваться симпьютером, если они не могут прочесть указания на экране? На этот вопрос есть два ответа. Во-первых, интерфейс этого компьютера прост: поскольку число команд ограничено, даже неграмотный пользователь методом проб и ошибок сможет выяснить назначение пиктограмм и кнопок на каждой странице. Во-вторых, программы позволяют устройству преобразовывать текст в речь. Симпьютер содержит базу фонем – лингвистических звуков, на основе которых вырабатывается звуковое представление любого слова. Таким образом можно читать вслух тексты на различных языках, существующих в Индии.

Симпьютер чрезвычайно прост в работе. На экране нет нагромождения графики, свойственного большинству персональных компьютеров. Под экраном расположены семь небольших кнопок, одна из которых – выключатель, а остальные предназначены для работы со

встроенными приложениями. Как оказалось, такая организация программ делает более удобной работу с пером.

Симпьютер снабжен также гнездом для ввода смарт-карты, которое разработчики считают очень важным. В связи с отсутствием жесткого диска, смарт-карты будут использоваться в качестве сменных носителей информации. Таким образом, один симпьютер может служить многим пользователям. Одна карта стоимостью от \$1 до \$3 сможет хранить 4–8 килобайт информации – не много, но достаточно для одного пользователя. «Мы рассчитываем, что жители деревни смогут объединиться, чтобы купить один компьютер на всех», – замечает Шашанк Гарг (Shashank Garg), вице-президент, отвечающий за разработку продукта в компании Encore. Индийский фермер, например, сможет оперативно выяснить цены на хлопок, что позволит ему выгодно продать урожай. А его сосед просмотрит доку-

менты государственной регистрации собственности, не выходя из дома.

Однако симпьютер не лишен недостатков. Скорость его работы настолько низка, что загрузка системы занимает 15 секунд, и еще несколько секунд уходит на обработку каждой порции информации, введенной пользователем. Он часто зависает и требует перезагрузки. Проблемой может оказаться также отсутствие надежного источника электроэнергии.

Около десяти лет назад английский изобретатель Тревор Бэйлис (Trevor G. Baylis) создал не требующий питания радиоприемник – «Фриплэй радио» – который снабжается энергией за счет вращения ручки, заводящей пружину внутри устройства. Раскручиваясь, пружина вращает вал небольшого электрогенератора. Компания *Freeplay Energy Group* недавно выпустила аналогичное зарядное устройство для мобильного телефона. На демонстрации, проведенной в 2002 г., некоторые заводные источники давали достаточно энергии для работы портативного компьютера *Apple* в течение нескольких минут.

Симпьютер оказывается не лучшим способом приобщения к благам цивилизации. Большинство людей в развивающихся странах не имеют стационарных телефонных линий, поэтому многие операторы мобильной связи создают в таких районах свои сети. Мобильные телефоны дают возможность посылать текстовые сообщения и выходить в Интернет. При этом они дешевле. Смогут ли люди из развивающихся стран тратить \$250 на устройство, которое полезно, но не жизненно необходимо? Можно ли отнести компьютеры к приоритетам, если многие общины третьего мира еще не имеют питьевой воды и необходимо-го медицинского обслуживания? ■

ОБ АВТОРЕ:

Фиона Харви (Fiona Harvey) – журналистка, живет в Лондоне, освещает проблемы, связанные с развитием технологий в газете «Файнэншл таймс» (Financial Times).

ПРОГУЛКА С ПРИМАТАМИ

Посещение лемурув в Центре по изучению приматов при Университете Дьюка.

Маргарет Холлоуэй

«Говорите шепотом – предупредил наш гид Линкольн Ларсон (Lincoln Larson). – Если лемуры решат, что вы хотите их перекричать, они сразу начнут оглушительно голосить и не успокоятся до тех пор, пока не почувствуют, что вы признали свое поражение».

Мы стоим напротив вольера с тремя рыжими и тремя черно-белыми лемурами вари. В июньский полдень клетка пуста: все животные прячутся от жары в своих убежищах. Внезапно, словно в подтверждение слов нашего гида, они начинают издавать непонятные оглушительные звуки. Волна криков то спадает, то поднимается вновь.

Здесь живут около 250 лемурув и других представителей полуобезьян – одной из групп отряда приматов. Почти все они родом с острова Мадагаскар, но есть и животные из Африки и Азии. Приматы возникли примерно 55 млн лет назад. Поскольку лемуры находятся на одной с человеком линии эволюционного развития, они сохраняют черты наших далеких предков. Возможно этим и объясняется столь пристальное внимание к ним со стороны специалистов. Около 50 видов лемурув, обитающих на острове, произошли от общего предка, поистине счастливица, которому удалось преодолеть путь в 400 километров от Африки до Мадагаскара. Эти необыкновенные зверьки обладают красивой разноцветной шерстью и мордочкой, похожей на лисью. Им грозит серьезная опасность из-за интенсивной вырубки лесных массивов.

15 видов полуобезьян живут в Центре Дьюка, который занимает 324 кв. км леса, где посетители могут беспрепятственно ими любоваться. Вари сосед-



Вари были привезены в Центр Дьюка с острова Мадагаскар. Многим видам лемурув на острове грозит полное исчезновение, поскольку там сохранилось всего 13% лесов.

ствуют с бурыми лемурами, рядом – сифака по имени Друцилла с детенышем. Из всех представителей полуобезьян сифаки наиболее известны. Они с легкостью прыгают по деревьям, преодолевая огромные расстояния, и предпочитают отказываться от неприятных ощущений, связанных с ходьбой. Вместе с Друциллой в клетке находится Нигел, 30-летний самец, который приходится отцом многим животным центра. Он уже начал терять волосы на ногах. Как объяснил наш гид Ларсон, «возраст лемура можно узнать по обилию растительности на коленях».

Мы некоторое время не можем оторвать глаз от лемура, который демонстрирует нам свой роскошный черно-белый хвост. Затем наша группа (около 17 человек) осматривает клетки, расположенные по кругу. Ограждения, вольеры, яркие пластиковые гимнастические снаряды напоминают детские площадки и джунгли. Но здесь никого нет – на улице жарко. В течение дня мы лишь мельком увидели дремлющих гапалемурув, рыжебрюхих, венценосных и голубоглазых черных лемурув, кошачьих лемурув и сифаков. Некоторые из них прятались от солнца в тени, другие вяло передвигались, и лишь один скакал. Побродив между клеток еще минут тридцать, мы наконец-то дошли до Ромео – диademового сифака весом 5,5 кг, одного из самых крупных представителей полуобезьян. На Мадагаскаре обитает несколько тысяч этих животных. «К сожалению, мы не можем найти ему Джульетту», – сказал Ларсон. Ромео прыгает по клетке, изучает нас, а потом идет в помещение вслед за нами. Он садится на порог между внутренней и внешней секциями и наблюдает. Одна задняя лапа прижата к телу, а другая вытянута. Создается впечатление будто он, отправляясь в путешествие, расположился в тамбуре железнодорожного вагона. «Грустно называть его Ромео, ведь он у нас – единственный представитель своего рода».

В Центре по изучению приматов не раз успешно скрещивались лемуры вари. За последние несколько лет отсюда на Мадагаскар были переправлены и оставлены на свободе три группы

этих зверюшек. По утверждению Дэвида Харинга, сотрудника центра, судьба выпущенных на волю животных, которые прожили какое-то время в лесопарке, сложилась куда лучше тех, кто содержался только в клетках. Несмотря на это, из тринадцати особей, вкусивших воздух свободы, шестеро стали жертвой своего врага, фоссы – крупного хищника, похожего на кошку. Тех, кто остался в живых, пришлось поймать и поместить на биологическую станцию. В Центре по изучению приматов занимаются не только вопросами сохранения лемурув, но и исследуют их миграции, и даже изучают их челюстные мышцы.

Все посетители стремятся увидеть айе-айе – одного из немногих пред-

ставителей исключительно ночных полуобезьян. Планируется открыть специальное помещение для вечерних посещений, где разместятся миниатюрные лори и галаго. Перед тем как группе разрешают зайти в затемненное помещение, гид показывает нам медный замок с глубокими следами зубов, которые у айе-айе чрезвычайно острые и растут на протяжении всей жизни. В освещенных зеленым светом клетках можно разглядеть этих зверюшек, расположившихся на ветках. Их вес приблизительно 5 кг, огромные уши лишены шерсти, пальцы неправдоподобно длинные, в особенности средний палец передних лап, которым айе-айе выковыривает мякоть из орехов.

Из полумрака мы вновь выходим на залитую солнечным светом опушку. Здесь нет скачущих с ветки на ветку лемурув, но почему-то нам кажется, что они мечтают о путешествии в родные места. ■

Подробную информацию о центре можно получить на сайте www.duke.edu/web/



«Очевидное – невероятное»



Смотрите в ближайших выпусках:

Генетическое разнообразие народов и происхождение человека

В студии кандидат биологических наук С. А. Боринская.

Молекулярно-генетические исследования помогают реконструировать историю формирования народов и всего человечества. Новое ответвление современной молекулярной биологии – геномика позволяет проводить сравнительный анализ структур геномов разных организмов. Исследования последних лет выявили много нового не только в происхождении и расселении людей по планете, но и в биологических особенностях человека. Удивительно, но наследственность предопределяет устойчивость и предрасположенность к некоторым инфекциям. Были найдены мутационные структуры ДНК, устойчивые к вирусу СПИД.

Геномика и медицина XXI века

В студии доктор биологических наук Н. К. Янковский.

Расшифровка генома человека открыла бескрайние горизонты прикладного использования этих исследований в различных областях науки и жизни людей. Недавно появились генетическая идентификация людей, генная дактилоскопия, диагностика по ДНК. Что еще ожидает нас в этом стремительно развивающемся направлении генетики? Прогнозы ученых выглядят просто фанатично. Знание того какой ген за что отвечает позволит проводить преимплантационную диагностику, найти новые лекарства от диабета, гипертонии, рака, и других заболеваний, изменить способ диагностики психических болезней и увеличить среднюю продолжительность жизни до 90 лет. Вы узнаете, какие возможности открывает геномика, к чему приведет клонирование человека и насколько сложна эта процедура.

Наступление второго ядерного века

В студии член-корреспондент РАН А. А. Кокошин.

В последние годы, в связи с окончанием холодной войны, появляется иллюзия, что ядерной угрозы больше нет. Однако количество государств, обладающих ядерным оружием, постоянно увеличивается, а контроль за распространением этого опаснейшего вида вооружений снижается. У новых ядерных стран нет опыта по сдерживанию гонки вооружений. Риторика противоборствующих стран, например Индии и Пакистана, зачастую перестрелит воинствующими призывами уничтожить врага всеми доступными средствами. Может ли быть использовано ядерное оружие в локальной войне, какие новые виды ядерного оружия существуют и разрабатываются и как можно предотвратить его распространение по планете?

РАЗВЕДЧИКИ И ПОГРАНИЧНИКИ

Дэнис Шаша

Теория чисел, некогда воспринимавшаяся как эзотерическая наука о загадочных свойствах простых чисел, самым неожиданным образом вторглась в современную криптографию. Большинство электронных платежей теперь осуществляется при помощи цифровой подписи, известной как алгоритм Райвеста-Шамира-Адлемана (Rivest-Shamir-Adleman) (RSA). В его основе лежит принцип разложения числа, представляющего собой результат перемножения двух простых чисел на множители.

Перемножение двух больших простых чисел есть не что иное, как односторонняя функция. Этот процесс занимает всего несколько микросекунд, а время, затраченное на выполнение данной операции, прямо пропорционально длине этого числа, отображенного в двоичной системе. Напротив, поиск двух простых множителей числа,

скажем объемом в 512 бит, может занять несколько часов. Даже после того, как искомые величины будут найдены, перебор оставшихся вариантов продолжится. Для чисел в 2 048 бит подобный процесс считается нецелесообразным, поскольку он занимает практически неограниченно долгое время. Для защиты особо важной военной и промышленной информации используются более сложные способы криптографической защиты, при которых даже сверхбыстрый поиск оказывается неэффективным.

Это подводит нас к головоломке, придуманной Джоном Маккарти (John McCarthy), – автором языка программирования Lisp и теории искусственного интеллекта. В 50-х годах Майкл Рабин (Michael Rabin), известный изобретатель прикладных и развлекательных компьютерных программ, разгадал головоломку. Сумеете ли вы?

Задача формулируется следующим образом: группа разведчиков проникает на вражескую территорию. После выполнения задания бойцы возвращаются, но при переходе границы или их застрелят свои, приняв за шпионов, или пограничники пропустят вражеских агентов на свою территорию. Чтобы избежать недоразумений, каждый разведчик должен будет назвать свой пароль, который пограничник должен будет опознать. И разведчики, и пограничники вполне надежны, но вдруг они проболтаются за кружечкой пива в баре? Итак: какого рода информацию можно доверить пограничникам, и какие пароли должны называть разведчики, чтобы только они смогли пересечь границу, даже если пограничники выдадут известные им сведения? Подсказка – рассуждение о простых числах. ■

Web-решение: чтобы узнать ответ на головоломку, посетите сайт www.sciam.com



УГРОЗА СО СТАЖЕМ В 2000 ЛЕТ

Неужели смех может быть корнем зла?

Стив Мирски



В июле 2002 г. было объявлено о продолжении работы администрации Буша над Программой системы информирования и предотвращения терроризма (TIPS). Люди, сообщающие о любых подозрительных действиях сограждан, будут поощряться. Некоторые законодатели обеспокоены тем, что эта программа может превратить американцев в нацию доносчиков. Ничего страшного: чрезвычайная ситуация требует адекватных мер.

С тяжелым сердцем я вынужден предупредить Америку: Мэл Брукс опасен.

Первые сомнения зародились у меня во время скандала с компанией *Enron*. Затем всплыли факты крупных финансовых махинаций, которые привели к краху корпораций *Arthur Andersen* и *WorldCom*. Подозрения окрепли, но самые серьезные опасения появились после просмотра фильма Мэла Брукса «Продюсеры», снятого в 1967г. и получившего награду Американской академии киноискусств в номинации за «Лучший оригинальный сценарий». Совсем недавно Брукс переделал «Продюсеров» в модный бродвейский хит. Это шоу в 2001 г. буквально «смело» все награды *Tony Awards*.

«Продюсеры» – история известного импрессарио Макса Бейлистока и его протеже – бухгалтера Лео Блума. Блума осенило: продюсер гораздо больше заработает на неудачной постановке, чем выручит от хита. Дело за малым – взять у инвесторов денег больше, чем надо. Гораздо больше. Затем немедлен-

но снять пьесу с проката. Главное, чтобы она не начала приносить доход. Ведь денег все равно не хватает. А кому хватает? Блум и Бейлисток подтверждают «научную бухгалтерскую теорию» практикой, они продают инвесторам 25 000% музыкальной пьески «Весна для Гитлера».

Генеральный директор компании *Enron* Кеннет Лей (Kenneth Lay), очевидно, не дождался сцены, где Блум поясняет, что продать-то можно только 100% чего-либо и сам попытался продать по крайней мере 110% *Enron*! Он продавал одни части компании другим, заявляя, что эти приобретения не что иное, как активы. Жаль, что Лей



пропустил ту часть фильма, где «Весна для Гитлера» становится хитом «погорелого театра», а Бейлисток и Блум дружно отправляются в тюрьму (за взрыв театра с попыткой уничтожить финансовую отчетность).

Брукс явно занимается обучением современных бухгалтеров-мошенников, но я совладал со своими эмоциями и решил его ни в чем не подозревать. Ведь «не корысти ради» писал он сценарий. Но не тут-то было. Вскоре эпизод из комедии положений «Стать умней» (поставленной в 60-х гг.) вызвал у меня подозрения. Страшная эпидемия поразила посадки картофеля. Снаружи клубни выглядели нормально, но, как Лей и его закадычные друзья, были совершенно пусты изнутри. Виновник трагедии – Зигфрид, глава зловещего агентства «Хаос». Он вырастил бактерии, пожирившие картофель изнутри и затем погибавшие. И никаких следов. А теперь к самой пугающей части – Зигфрид распылял бактерии с самолетов. Как вы думаете, кто участвовал в создании «Стать умней»? Абсолютно верно: Мэл Брукс стал вдохновителем разного рода аферистов.

Между прочим, Брукс – фамилия не настоящая. При рождении он получил имя Мелвина Камински (Melvin Kaminsky), но до сих пор живет среди нас, прикрываясь вымышленным именем. Я нахожу всю эту ситуацию крайне подозрительной. И мне доподлинно известно, что парням, чьи фамилии заканчиваются на «-ски», доверять нельзя. ■

КАК ИЗВЛЕКАЮТ КОФЕИН ИЗ КОФЕ?

Рик Вулли

На вопрос отвечает Фергус Клайдсдейл (Fergus M. Clydesdale), заведующий кафедрой питания Массачусетского университета.

В настоящее время используют три основных способа удаления кофеина из кофе. Каждый начинается с вымачивания зеленых или жареных зерен в воде – с тем, чтобы перевести кофеин в растворимое состояние. Этот процесс обычно проходит при температуре 70–100 °С.

При первом способе – обработке водой – вымоченные зерна выдерживают в смеси воды и экстракта зеленого кофе с пониженным содержанием кофеина, где кофеин экстрагируется под действием сил осмоса. Затем зерна промывают и сушат, а обогащенный кофеином раствор пропускают через обработанный слой древесного угля. Под действием обработки уголь теряет способность абсорбировать сахара и другие вещества, придающие кофе аромат, но прекрасно поглощает кофеин. Таким образом, пройдя угольный фильтр, отработанная смесь экстракта вновь теряет кофеин. После чего кофейные зерна вновь настаивают

в этом же растворе для обогащения веществами, усиливающими их аромат и вкус.

Метод «обработки водой» позволяет получить экологически чистый продукт, поскольку, вредные химические вещества не используются. Однако из зерен выводится не только 94–96% кофеина, но и другие вещества, отвечающие за неповторимый кофейный аромат.

Второй способ экстракции кофеина предполагает использование неводного растворителя, который циркулирует в слое предварительно вымоченных зеленых зерен, извлекая кофеин. Затем он поступает в испаритель, а зерна промываются водой. И наконец зерна обрабатывают паром, с тем чтобы уничтожить остатки химического вещества. Такие растворители, как хлористый метилен, в отличие от древесного угля, экстрагируют только кофеин, удаляя его на 96–97%, и не растворяют другие вещества.

При третьем способе применяется сжиженный диоксид углерода. Он циркулирует в слое зерен, помещенных в барабаны с внутренним давлением 250–300 атмосфер. При таком давлении плотность диоксида углерода

становится такой же, как у жидкости, а коэффициент диффузии – как у газов, что позволяет ему проникать внутрь зерен. Для очистки от кофеина, обогащенный кофеином диоксид углерода пропускают через древесно-угольный фильтр или воду, а затем возвращают обратно для повторного применения.

Описанный способ применяется наиболее широко, поскольку диоксид углерода имеет достаточно низкое давление перехода в сверхкритическое состояние, не токсичен и широко распространен в природе. В то же время этот способ экстракции кофеина наиболее дорогой, но позволяет удалить от 96 до 98% кофеина. ■



ПОЧЕМУ ПАУТИНА ТАКАЯ ПРОЧНАЯ?

Биолог Вильям Пёрвз (William K. Purves) из Колледжа Харви Мадд предлагает свое объяснение

Шелк, образующий радиальные нити паутины, состоит из двух белков, определяющих его прочность и эластичность. Каждый белок содержит три участка с разными свойствами. Первый формирует аморфную (некристаллическую), способную к растяжению матрицу, которая придает шелку эластич-

ность. Когда насекомое попадает в паутину, матрица растягивается, поглощая кинетическую энергию соударения с насекомым. Жесткость шелку придают два вида кристаллических областей, встроенных в аморфные участки каждого из белков. Обе эти области имеют плотноупакованную структуру и не поддаются растяжению, при чем один из них имеет жесткую конструкцию. Полагают, что кристаллические участ-

ки с менее жесткой конструкцией скрепляют жесткие кристаллические структуры с аморфной матрицей.

Толщина нити паутины составляет всего лишь 0,1 диаметра человеческого волоса, однако в несколько раз прочнее стальной проволоки того же веса. В фильме «Человек-паук» прочность паутины сильно недооценена: настоящие нити тоньше тех веревок, на которых висел герой картины. ■



Читайте в мартовском выпуске журнала

Когда звезды сталкиваются

Если белый карлик врежется в Солнце...

Длинные руки иммунной системы

Дендритные клетки - ключ к противораковой вакцине

Шестиногий сюрприз

Обнаружено новое насекомое

Технологии против террора

Биологи и инженеры работают над созданием биодетекторов

Оформить подписку на журнал «В мире науки» можно:

- по каталогу Роспечать, подписной индекс **81736**
 - через редакцию журнала, перечислив деньги через Сбербанк или по почте, отправив копию квитанции (с указанием точного адреса и индекса подписчика) в РосНОУ по почте, по факсу: (095) 105-03-72 или по e-mail: red_nauka@rosnou.ru
- Стоимость одного номера при подписке через редакцию – 65 руб.
стоимость подписки на полугодие – 390 руб., на год – 780 руб.



Розничная продажа в Москве осуществляется в передвижных киосках «Метрополитеновец» около станций метро.

	<p>Негосударственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский новый университет» Расчетный счет 40703810200000010014 в КБ «Ист-Бридж Банк» г. Москва БИК 044579128 Корреспондентский счет 30101810500000000128 Идентификационный номер ИНН 7714082749</p> <hr/> <p>Фамилия, и.о., адрес плательщика</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Вид платежа</th> <th>Дата</th> <th>Сумма</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Подписка на журнал «В мире науки»</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Плательщик</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Вид платежа	Дата	Сумма	Подписка на журнал «В мире науки»			Плательщик		
Вид платежа	Дата	Сумма								
Подписка на журнал «В мире науки»										
Плательщик										
	<p>Негосударственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Российский новый университет» Расчетный счет 40703810200000010014 в КБ «Ист-Бридж Банк» г. Москва БИК 044579128 Корреспондентский счет 30101810500000000128 Идентификационный номер ИНН 7714082749</p> <hr/> <p>Фамилия, и.о., адрес плательщика</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Вид платежа</th> <th>Дата</th> <th>Сумма</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Подписка на журнал «В мире науки»</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Плательщик</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Вид платежа	Дата	Сумма	Подписка на журнал «В мире науки»			Плательщик		
Вид платежа	Дата	Сумма								
Подписка на журнал «В мире науки»										
Плательщик										