

ежемесячный научно-информационный журнал

SCIENTIFIC
AMERICAN

В мире науки

№2 2007

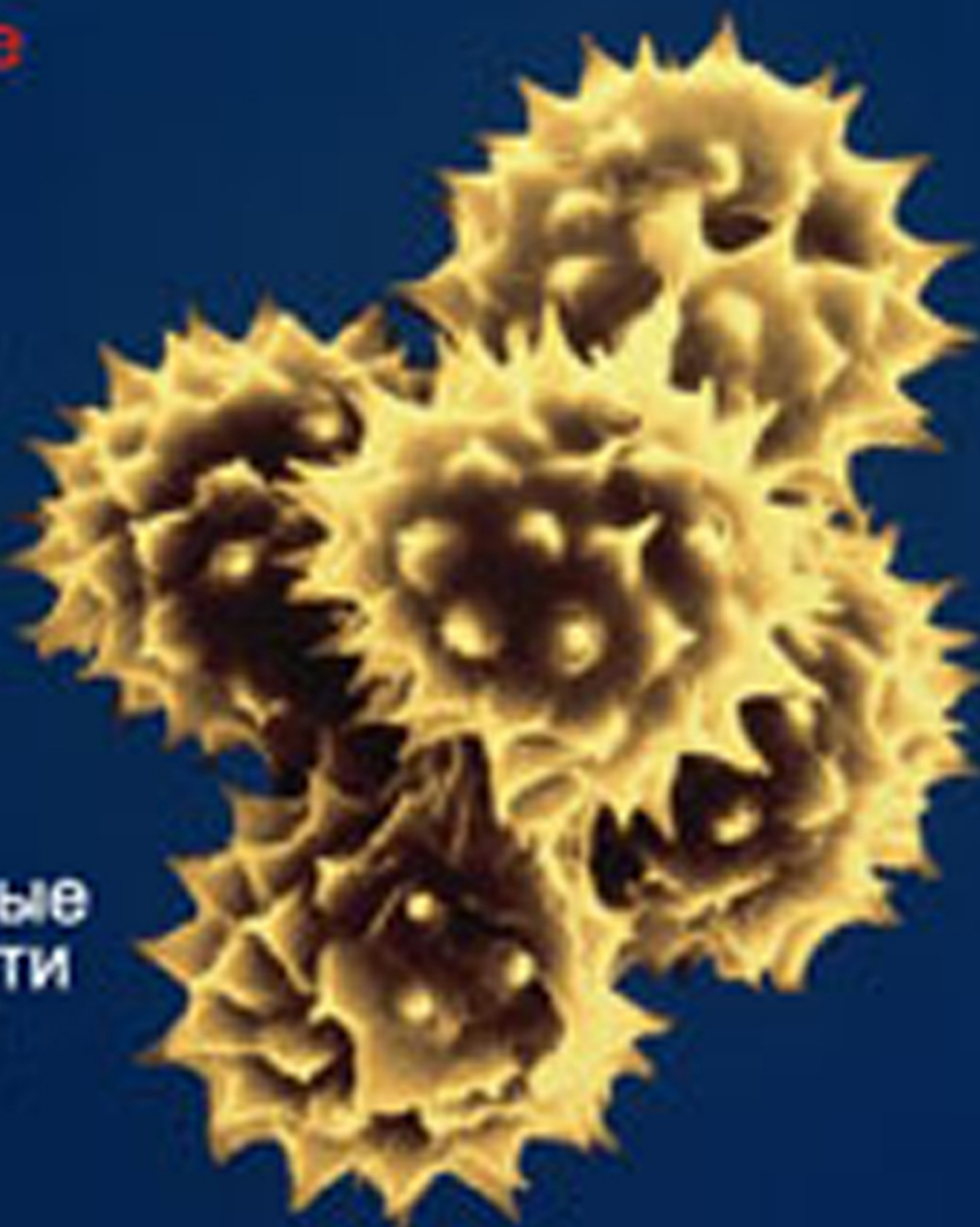
Новое лицо президента

Культурные
обезьяны
и развитие
интеллекта

Стволовые
клетки —
виновники
рака?

Как
воспитать
гения?

Невероятные
возможности
Интернета



www.sciam.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ФЕВРАЛЬ 2007

ГЛАВНЫЕ ТЕМЫ НОМЕРА:

- 14 АСТРОНОМИЯ**
ДЕСЯТЬ ВАЖНЕЙШИХ ОТКРЫТИЙ «ХАББЛА»
Марио Ливιο
Немногие телескопы могут похвастаться таким весомым вкладом в астрономические исследования, как космический телескоп «Хаббл»
- 20 АСТРОФИЗИКА**
ЗАЩИТА КОСМИЧЕСКИХ ПУТЕШЕСТВЕННИКОВ
Юджин Паркер
За год, проведенный человеком в межпланетном пространстве, космические лучи способны уничтожить треть его ДНК. Как защитить космонавтов?
- 28 БИОТЕХНОЛОГИИ**
СЕКРЕТ ГЕНОВ ДОЛГОЛЕТИЯ
Дэвид Синклер и Ленни Гайренте
Гены, которые помогают организму пережить трудные времена, положительно влияют на состояние здоровья и продолжительность жизни всех живых существ. Разобравшись в механизме их работы, мы сможем подойти к решению проблемы сохранения трудоспособности в старческом возрасте
- 36 БИОМЕДИЦИНА**
РАКОВЫЕ СТЕВЛОВЫЕ КЛЕТКИ
Майкл Кларк и Майкл Беккер
Злокачественное перерождение стволовых клеток лежит в основе целого ряда онкологических заболеваний. Задача исследователей и клиницистов — найти и уничтожить неуловимые клетки-убийцы
- 44 ЭВОЛЮЦИЯ**
КТО НА СВЕТЕ ВСЕХ УМНЕЕ?
Карел ван Шаик
Что способствовало эволюции уникальных интеллектуальных способностей человека — точнее, наших предков-гоминидов?
- 52 НЕЙРОБИОЛОГИЯ**
ФЕНОМЕНАЛЬНЫЙ МОЗГ
Дерольд Трефферт и Дэниел Кристенсен
У американца Кима Пика поистине уникальная память. Но пока мы не объясним природу его феноменальных способностей, мы не сможем полностью понять механизм функционирования человеческого мозга
- 58 ПСИХОЛОГИЯ**
КАК ВОСПИТАТЬ ГЕНИЯ?
Филип Росс
Исследование процессов мышления у шахматных гроссмейстеров помогло понять, каким образом люди становятся компетентными специалистами и в других областях
- 66 ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**
УЗЕЛКОВЫЙ КВАНТОВЫЙ КОМПЬЮТЕР
Грэхем Коллинз
Чтобы создать работоспособный квантовый компьютер, нужно представить вычисления в виде переплетения пространственно-временных траекторий двумерных квазичастиц
- 74 ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**
ЛИЦО ПРЕЗИДЕНТА
Джеффри Шварц
Американский антрополог Джеффри Шварц при помощи компьютерной программы для обработки трехмерной графики воссоздал достоверные изображения Джорджа Вашингтона в возрасте 19, 45 и 57 лет
- 82 ТРАНСПОРТ**
ГИБРИДНЫЕ АВТОМОБИЛИ
Джозеф Ромм и Эндрю Франк
Не успели автолюбители оценить автомобили с гибридным силовым агрегатом, а на горизонте уже появились еще более «зеленые» гибриды
- 88 ИСТОРИЯ ТЕХНИКИ**
СКАЗ О ЛОГАРИФМИЧЕСКОЙ ЛИНЕЙКЕ
Клифф Столл
В середине XX в. были созданы первый космический корабль, атомный ледокол и электронный компьютер, но все расчеты тогда выполнялись с помощью удивительно простого и удобного устройства — логарифмической линейки

Учредитель и издатель: ЗАО «В мире науки»

Главный редактор: С.П. Капица

Заместитель главного редактора: В.Э. Катаева

Зав. отделами:
 фундаментальных исследований А.Ю. Мостинская
 естественных наук В.Д. Ардамацкая

Ответственный секретарь: О.И. Стрельцова

Редакторы: Ю.Г. Юшквичюте,
 А.А. Приходько

Выпускающий редактор: М.А. Янушкевич

Спецкорреспондент: Д.В. Костикова

Над номером работали:
 А.В. Банкрашков, Е.Г. Богадист, Б.А. Квасов,
 В.В. Свечников, В.Г. Сурдин, А.П. Худoley,
 Б.В. Чернышев, Н.Н. Шафрановская

Верстка: Ю.А. Сулимов

Корректурa: Я.Т. Лебедева

Генеральный директор
 ЗАО «В мире науки»: С.А. Бадиков

Коммерческий директор: В.И. Левицкий

Главный бухгалтер: Т.М. Братчикова

Помощник бухгалтера: С.М. Амелина

Отдел распространения: Л.В. Старшинова

Подписка: О.А. Флакова

Старший менеджер
 по связям с общественностью: А.А. Рогова

Менеджер по рекламе: В.П. Мостинская

Адрес редакции:
 105005, Москва, ул. Радио, д. 22, к. 409
 Телефон: (495) 727-35-30, тел./факс (495) 105-03-72
 e-mail: edit@sciam.ru; www.sciam.ru

Размещение рекламы: Рекламное агентство ООО «Видео
 Интернешнл-пресс ВИ», 121522, Москва, ул. Оршанская,
 д. 3, тел. (495) 956-33-00, факс 737-64-87

Иллюстрации предоставлены *Scientific American, Inc.*
 В верстке использованы шрифты *Helios* и *BookmanC*

Отпечатано в Эстонии, типография **Printall**

© В МИРЕ НАУКИ

Журнал зарегистрирован в Комитете РФ по печати.
 Свидетельство ПИ №ФС77-19285 от 30.12.2004

Тираж: 40 000 экземпляров

Цена договорная.

Перепечатка текстов и иллюстраций только с письменного
 согласия редакции. При цитировании ссылка на «В мире
 науки» обязательна. Редакция не всегда разделяет точку
 зрения авторов и не несет ответственности за содержание
 рекламных материалов. Рукописи не рецензируются и не
 возвращаются.

SCIENTIFIC AMERICAN

ESTABLISHED 1845

Editor in Chief: John Rennie

Editors: Mark Alpert, Steven Ashley, Graham P. Collins,
 Steve Mirsky, George Musser, Christine Soares

News Editor: Philip M. Yam

Contributing editors: Mark Fichetti,
 Marguerite Holloway, Philip E. Ross,
 Michael Shermer, Sarah Simpson, Carol Ezzell Webb

Art director: Edward Bell

Vice President and publisher: Bruce Brandfon

Chairman emeritus: John J. Hanley

Chairman: John Sargent

President and chief executive
 officer: Gretchen G. Teichgraeber

Vice President and managing director,
 international: Dean Sanderson

Vice President: Frances Newburg

© 2004 by Scientific American, Inc.

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

РАЗДЕЛЫ:

3 **ОТ РЕДАКЦИИ
 РАДИ ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ**

4 **50, 100, 150 ЛЕТ ТОМУ НАЗАД**

6 **СОБЫТИЯ, ФАКТЫ, КОММЕНТАРИИ**

- * И снова о гриппе
- * Как пощадить поясницу?
- * Пульсар — звездный волчок
- * Новая технология создания хрящевой ткани
- * Остановилось ли развитие нашего мозга?
- * Тренировка для ума
- * Вулкан — климатическая лаборатория
- * Девственное размножение комодских варанов
- * Свет звезды в конце туннеля
- * Повесть огненных лет

92 **ТРАДИЦИИ
 ДАР БОГОВ**

Алексей Леонов

Аргентина подарила миру

*блистательных футболистов, страстное танго
 и удивительную церемонию mate*



Ради жизни на Земле

В этом году исполнилось четыре года с того момента, как журнал «В мире науки» (*Scientific American*) возобновил свой выход в России.

День рождения — хороший повод подвести итоги того, что было сделано за это время. Вокруг журнала сложился дружный коллектив профессиональных переводчиков, авторов и консультантов. Среди них такие выдающиеся ученые, как Ж.И. Алферов, К.В. Анохин, Е.П. Велихов, Б.М. Величковский, В.Г. Веселаго, А.М. Иваницкий, Ю.М. Каган, В.М. Котляков, В.В. Миронов, В.С. Мясников, Ю.Ц. Оганесян, Н.А. Рыжов, В.А. Садовничий, В.П. Скулачев, В.С. Степин, В.Е. Фортон, А.М. Черепашук, А.Ю. Шевяков, А.Е. Шейндлин, В.Л. Янин и многие другие российские ученые, а также наши соотечественники, проживающие за рубежом, исследователи из Грузии, Болгарии, Италии, Украины и т.д., работающие во всех областях науки — от астрономии до наноэлектроники, от биотехнологий до социальной психологии, от энергетики до информационных технологий, от археологии до систем безопасности. Журнал оказывал информационную поддержку Международной премии «Глобальная энергия».

Расширился круг наших читателей, которые, судя по письмам, внимательно следят за развитием российской и мировой науки и техники и не остаются равнодушными к актуальным проблемам, поднимаемым в нашем издании.

За прошедшие годы мы не только освещали новейшие достижения в области научных исследований, но и касались вопросов взаимодействия науки и общества, поднимали актуальные этические проблемы, возникающие в связи с современ-

ными научными разработками и открытиями.

В наше время во всем мире люди нередко сталкиваются с фальсификацией и недостоверностью научных данных, что в последнем случае связано с недостаточной компетентностью и ответственностью, отсутствием научных традиций и жесткого контроля над результатами исследований. Порой приходится сталкиваться с глубокими заблуждениями культурного характера, а также с мистическими и лженаучными представлениями: такова, например, попытка представить астрологию как науку. Наиболее часто подобные вещи, в том числе и спекуляция, связаны с областью медицины, где помимо научных факторов действуют и социополитические. В последние годы были развенчаны мнимые научные достижения и открытия в области генной инженерии, иммунологии, новых методов лечения рака молочной железы и аневризмы головного мозга. С другой стороны, все большее значение приобретает «проблема человека». Подобные тенденции объясняются, в первую очередь, несоответствием уровня общественного сознания темпам развития международной научной мысли. Запросы

общества по отношению к науке, как правило, завышены: люди требуют немедленно решить проблемы раковых заболеваний, СПИДа, продления человеческой жизни, «отмены старости» и т.д., что порой невозможно. Для этого необходимы долгие годы, даже десятилетия кропотливых теоретических разработок, экспериментов, исследований, апробации и постепенного безопасного внедрения результатов открытий в жизнь.

Кроме того, существуют, например, направления, которые позиционируют себя как обобщение фундаментальных представлений, однако за многие годы пока не дали результатов, которые можно бы было проверить на практике. Такова и теория струн, претендующая на роль абсолютного объяснения мироздания. С другой стороны, открытие «темной материи» ставит перед теоретиками новые проблемы, ждущие своего решения. В этом контексте становится очевидным, насколько высока ответственность как отдельных ученых, так и всего научного сообщества не только за результаты их исследований, но и за достоверное информирование общества. Нельзя снимать ответственность и с политиков, представителей властных структур и СМИ.



Вирусный паттерн ■ Дыхательные аппараты ■ Наука и обвинение

ФЕВРАЛЬ 1957

ВИРУС ГРИППА. «У вирусных частиц довольно простое строение, и есть надежда, что мы сможем досконально разобраться в нем. Даже наши обширные знания об обычных живых клетках нельзя назвать полными. Инфицированная клетка представляет гораздо более сложную проблему. Похоже, это характерная особенность современной биологии: как только речь заходит о каком-нибудь новом явлении, например, о размножении вирусов, всех накопленных знаний о химическом строении и функционировании клеток оказывается недостаточно. Поэтому любое описание процессов, протекающих в инфицированных клетках, непременно будет условным и упрощенным. Вирус – это не обычный индивидуальный организм, а что-то вроде потока биологического паттерна, передаваемого от клетки к клетке относительно инертными вирусными частицами, которые черпают жизнь из вновь зараженных клеток», – сэр Фрэнк Макфарлейн Бернет. (Прим. ред.: В 1960 г. Бернет был удостоен Нобелевской премии по физиологии и медицине.)

ФЕВРАЛЬ 1907

СВЕЖИЙ ВОЗДУХ. Противогазы, скафандры и автономные дыхательные аппараты используются в шахтах, при тушении пожаров, в аммиачных камерах холодильных цехов и т.д. Специальное оборудование может в течение четырех часов снабжать человека искусственным воздухом. Обычно кислород поступает из стальных баллонов. В горнодобывающих районах Южной Америки проблема заправки кислорода стоит очень остро. Многие транспортные компании отказываются перевозить сжатый кислород в стальных цилиндрах. Поэтому

недавно было начато производство брикетов с перекисью натрия, которая при реакции с водой выделяет химически чистый кислород.

ФЕВРАЛЬ 1857

УБИЙСТВО. Доктор Х. Берделл был найден заколотым в своей собственной комнате утром 29 января. Следствию стало известно, что он не ладил со своей экономкой, но благодаря науке с нее было снято, казалось бы, неоспоримое обвинение. Как показал химический анализ, кровь, обнаруженная на ее кухонном ноже, оказалась пятнами ржавчины, а кровавое пятно на синем шелковом платье – следами вишневого компота. В то же время на ноже и газетах, принадлежащих одному из соседей потерпевшего, были найдены пятна, химический анализ которых показал, что это кровь, а с помощью микроскопа в них даже были обнаружены эритроциты.

ВОДОВОРОТ. Европейский корреспондент информировал, что Мальстрима, огромного водоворота у побережья Норвегии, обозначенного на всех картах, о котором ходит столько историй, не существует. Он рассказал, что королем Дании была создана навигационная научная комиссия, которая должна была добраться к самому краю водоворота, измерить длину его окружности и провести другие наблюдения. Ученые добрались до места, где должен был быть Мальстрим, но воды там оказались столь же тихим, как и во всем Северном море. А ведь прежде нас учили, что Мальстрим засасывает в пучину китов и даже большие суда.

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО ШТАТА ИЛЛИНОЙС.

На иллюстрации изображена сеялка мистера Херда из местечка Молин, штат Иллинойс. Машину тянет упряжка из двух величественных, но сильных и быстрых обитателей прерий. Во время движения специальный механизм разбрасывает семена.



СЕЯТЕЛЬ далеких прерий, 1857 г.

И снова о гриппе

Если в этом году произойдет вспышка гриппа, то согласно результатам исследований, проведенных ВОЗ, 96% жителей развивающихся стран станут ее жертвами.

Предполагается, что штамм вируса гриппа *H5N1*, который обнаружен в крови птиц Юго-Восточной Азии и Африки, станет предшественником глобальной вспышки эпидемии. Чтобы оценить потенциальную угрозу, исследователи проанализировали данные по вспышке гриппа 1918 г., унесшей по меньшей мере 20 млн. жизней. Чтобы определить точнее число летальных исходов во время эпидемии 1918 г., Кристофер Мюррей (Christopher Murray) из Гарвардского института здоровья проанализировал данные по разным странам за 1915–1923 гг. и вычислил средний показатель смертности от гриппа. Он применил этот

показатель по каждой стране к ее нынешнему состоянию на 2004 г. и получил вероятный верхний предел смертности от гриппа в этом году, который варьируется от 50 до 80 млн. Однако исследователи не знают, будет ли штамм вируса *H5N1* столь же смертелен, что и в 1918 г. То, что птичий грипп с ноября прошлого года уносил жизни 154 человека из 258 заболевших, заставляет предположить, что вирус будет особенно опасен.

Исследователи установили, что показатель дополнительной смертности от гриппа хорошо согласуется с доходами на душу населения. «Стратегия борьбы не нова: прививки, противовирусные препараты и антибиотики для лечения осложнений — все это остается недоступным не только для стран с самым низким, но и для стран со средним уровнем

дохода в бедных слоях населения», — отмечает Мюррей. Кроме того, по его мнению, необходима вакцинация против пневмонии в странах третьего мира, карантинные и прочие традиционные меры, такие как закрытие учебных и детских учреждений и т.д.

Однако это не означает, что высокие доходы не защитят «богатые» страны от эпидемии. По оценкам эпидемиолога Нейла Фергюсона (Neil Ferguson) из Королевского колледжа в Лондоне, в таких странах, как США, смертность может быть лишь в три раза ниже, чем в других, т.к. в 1918 г. грипп унес более 500 тыс. жизней американцев. В бедных же странах такие заболевания, как СПИД и малярия, сделают население еще более восприимчивым к гриппу, чем прежде.

Дж. Р. Минкел

КАК ПОЩАДИТЬ поясницу?

«Сиди прямо, а то будет болеть спина», — втолковывала нам мама в детстве. Последнее исследование показывает, что наши заботливые родители несколько ошибаются в данном вопросе. Поза, в которой спина находится под углом 90°, вызывает гораздо большее напряжение, чем положение с некоторым наклоном назад, а именно под углом 135°.

Чтобы найти оптимальное для человека положение, доктор Васим Амир Башир, рентгенолог из госпиталя Альберта, Канада, с помощью «позиционного» ЯМР-сканера исследо-

довал группу из 22 здоровых взрослых людей, которые никогда не жаловались на боли в позвоночнике и не подвергались хирургическим операциям. Испытуемые занимали три различные позы: ссутулившись, так что верхняя часть тела немного сгибалась вперед; спина абсолютно прямая, ноги находятся под углом 90° к туловищу, колени и бедра на одном уровне; и «расслабленная» поза с некоторым (т.е. под углом 135°) наклоном назад. «Тогда колени находятся ниже бедер, а туловище откинута назад, что щадит и поддерживает поясницу. Данная

поза является идеальным сидячим положением. Потенциально опасные смещения межпозвоночных дисков наиболее вероятны именно в 90-градусной сидячей позиции. Когда человек сидит под углом 135°, такие явления встречаются гораздо реже. Это говорит о том, насколько меньше в данном случае растяжение в спине, — замечает Башир. Как и ожидалось, худшим вариантом для позвоночника оказалась сутулость.

Меган Роусчер

Партнерство государства и бизнеса

С 5 по 8 февраля 2007 г. во Всероссийском выставочном центре пройдет VII Московский международный салон инноваций и инвестиций. Проект является крупнейшим научно-техническим форумом изобретателей, разработчиков и производителей высокотехнологичной продукции, инвестиционных проектов в научно-технологической сфере и промышленности, не имеющим аналогов в России. Организаторами мероприятия выступают Министерство образования и науки Российской Федерации, Министерство экономического развития и торговли Российской Федерации, Федеральное агентство по науке и инновациям, ОАО «ГАО «Всероссийский выставочный центр»

Развитие инновационной деятельности как ключевого фактора повышения конкурентоспособности российских предприятий на внутреннем и внешнем рынках – один из приоритетов государственной научно-технической и промышленной политики, определенных Правительством РФ в рамках среднесрочной социально-экономической программы на 2005 – 2008 гг.

VII Московский международный салон инноваций и инвестиций проводится в целях демонстрации результатов государственной поддержки развития инновационной инфраструктуры России, содействия изобретателям, разработчикам и производителям высокотехнологической продукции в продвижении перспективных технологий и продукции на отечественный и зарубежный рынки, развития деловых контактов, а также активизации предпринимательской инновационной деятельности, определения возможностей эффективного использования интеллектуальных ресурсов, научно-технологического, производственного, кадрового потенциала высших учебных заведений, научных организаций и промышленных предприятий.

Важнейшая отличительная особенность Салона – возможность создания и демонстрации информационных и организационных моделей элементов национальной инновационной системы, включая технологические коридоры «НИОКР – производство – рынок». Программные мероприятия и экспозиция Салона объединены общей задачей привлечения инвестиций в научно-технологическую сферу и промышленность.

Участники Салона имеют уникальную возможность заключить выгодные соглашения и контракты, получить призы ряда международных организаций, среди которых Ассоциация INOVA Франция), Центр биологических исследований «Динка Анку» (Румыния), Ассоциация изобретателей Венгрии – MAFE, Северо-Западный центр маркетинга и менеджмента объектов промышленной собственности



(Эстония), организации и компании из Бельгии, Украины, Чехии. Салон состоит из трех основных разделов – «Инновационные проекты и разработки», «Услуги в области инновационной деятельности» и «Инвестиционные проекты в науке и промышленности». В рамках Салона состоятся «круглые столы», деловые встречи, презентации инновационных проектов, федеральных и региональных программ инновационного развития. Организуются три конкурса: «Изобретения и инновационные разработки», «Лучший товарный знак» и конкурс для средств массовой информации – «Пресса об инновациях».

Перспективы развития Московского международного салона инноваций и инвестиций огромны: в 2005 г. в мероприятиях Салона приняли участие представители более чем 400 организаций и предприятий, площадь выставочной экспозиции составила 5,2 тыс. метров. В этом году согласие на участие в Салоне также подтвердили более чем 400 организаций, среди которых ведущие вузы страны, крупнейшие заводы, союзы изобретателей и другие научно-производственные предприятия. Информационную поддержку проекту оказывают национальное деловое партнерство «Альянс Медиа», «Инновации», «Двигатель», «Национальные проекты», «Интеграл», «Наука Москвы и регионов», «Инновации. Технологии. Решения» и другие. В будущем организаторы планируют значительно расширить формат мероприятия. Строительство технически совершенного и полностью соответствующего международным стандартам выставочного комплекса «Россия» (240 тыс. кв. м) на территории ВВЦ позволит воплотить самые грандиозные планы организаторов и станет достойной площадкой Салона в 2008 г.

Приглашаем Вас посетить VII Московский международный салон инноваций и инвестиций!

Подробнее — на сайте: <http://www.innovex.ru>.

Пульсар — звездный волчок

Впервые проведенное 3D-моделирование сверхновой показывает, что растущий пульсар может отдавать часть вращательного момента на сопротивление закручивающейся ударной волне, обрушивающийся на коллапсирующую звезду.

У исследователей появилась уникальная возможность выяснить, почему пульсары, представляющие собой сгустки нейтронной материи, вращаются вокруг оси. Моделирование показывает, что ключом к разгадке может быть ударная волна, которая сопровождает взрыв умирающей звезды.

Звезды, чья масса в несколько раз превышает массу Солнца, исчерпав топливо, превращаются в ультраплотные пульсары. Признаком разрушения звезды становится взрыв сверхновой, который отбрасывает большую часть ее прежней массы. Согласно теории, пульсар должен вращаться намного быстрее породившей его звезды, подобно фигуристу, складывающему руки на гру-

ди для сохранения момента вращения.

«Если здесь применить ту же теорию, то нейтронная звезда должна вращаться с такой скоростью, что ее разорвало бы на части, — объясняет астрофизик Джон Блондин (John Blondin) из Университета штата Северная Каролина. — Некая сила должна замедлять звезду». Исследователи полагают, что в роли тормоза выступает всепроникающее магнитное поле, но до сих пор неизвестно, могут ли эти поля настолько замедлить пульсар.

Ученые предполагают, что звезду замедляет круговая ударная волна. Прежнее моделирование на плоскости показало, что разреженный звездный материал уплотняется в твердую основу новой звезды, и мощная ударная волна уже может отражаться от него, распространяясь наружу.

Недавнее трехмерное моделирование показало детали, отсутствующие в прежней модели, — ударная волна вращается. Именно это вращение заставляет разрушающуюся звезду поворачиваться в направлении, противоположном тому, в котором перемещается ударная волна. Спустя секунду после взрыва вращение уже достаточно стреми-



тельно, чтобы получались типичные скорости вращения пульсара (один оборот за 300 миллисекунд). Получены реально наблюдаемые периоды вращения пульсара.

Но есть и проблемы. Магнитное поле и некоторые другие эффекты по идее должны в самом начале взрыва решительно замедлить ядро звезды, чтобы ударная волна могла набрать нужную скорость. Это заставляет признать, что магнитное поле — более эффективный тормоз, чем предполагали прежние приблизительные оценки. Но группа Блондина смотрит на проблему с оптимизмом. «Без эффекта ударной волны, — говорит он, — мы бы не смогли бы объяснить, почему нейтронная звезда замедляется до скорости один оборот за 300 миллисекунд».

Дж. Р. Минкел



Новая технология

создания хрящевой ткани

Восстановить отсутствующую ушную раковину с помощью методов пластической реконструктивной хирургии практически невозможно. Решающее значение для приживания трансплантата имеет создание собственной сосудистой сети, а также его перемещение.

Хрящевая часть ушной раковины формирует завитки сложной уникальной формы и обладает высокой степенью эластичности и упругости. Создание трехмерных эквивалентов хрящевой ткани заданной формы в настоящее время не представляет большой проблемы для современных биотехнологических лабораторий. Основу протезов обычно составляют пластиковые биорезорбируемые материалы, коллагеновые губки или полимерные синтетические гели, которые позволяют создавать уникальные в своем роде тканеинженерные конструкции сложных форм. Однако, полное «созревание» ткани невозможно без формирования кровеносных сосудов.

Новую оригинальную методику, основанную на префабрикации (формировании тканей со специально заданными свойствами) *in vivo*, предложили американские исследователи из Медицинской школы Иллинойского университета. Крысам под кожу паховой области имплантировали силиконовый протез, выполненный в виде человеческой ушной раковины. В результате в подкожной клетчатке вокруг имплантата формировалась плотная фиброзная капсула, повторяющая форму протеза. Через 3 недели имплантат аккуратно удалили и в оставшуюся полость залили фибриновый клей, содержащий специально подготовленные

аутогенные хондробласты, взятые из ушной раковины. В качестве контроля использовался чистый фибриновый клей и взвесь хондробластов.

В результате через восемь недель после трансплантации в опытной группе клетки в фибриновом геле формировали зрелую хрящевую ткань в виде ушной раковины. Достоверного образования хряща в контрольных группах обнаружено не было. Добиться полного повторения формы человеческого уха удалось только у четырех крыс. Близость крупных бедренных сосудов дала возможность выделить трансплантат на сосудистой ножке, что позволило сохранить кровоснабжение в созданном эквиваленте хряща ушной раковины.

Данная методика заслуживает пристального внимания пластических реконструктивных хирургов и специалистов в области регенеративной медицины в связи с большой клинической перспектив-



вой. Будущие преclinical исследования будут направлены на выяснение жизнеспособности такой конструкции после трансплантации.

(По материалам журнала «Клеточная трансплантология и тканевая инженерия»)



Тренировка для УМА

Уже к 34 годам человек мыслит не столь быстро, как это было в юности. Ухудшается память, забываются имена и цифры. И это лишь первый шаг по дороге к старости. Что мы вспомним в 74 года? Именно таков средний возраст группы из 2802 добровольцев, принявших участие в долгосрочном исследовании, цель которого – показать, можно ли избежать пагубных возрастных изменений. Команду ученых возглавляет Шерри Уиллис (Sherry Willis) из Пенсильванского университета. Группу добровольцев, состоявшую из представителей всех слоев общества, рас и частей света, объединяло только одно: в 1998 г., когда началось исследование, у них не было никаких признаков возрастного ухудшения познавательных способностей.

«Мы хотели оценить влияние обучения на работу мозга и посмотреть, отразится ли тренировка на повседневных действиях», – говорит Майкл Мэрсиск (Michael Marsiske), психолог из Университета штата Флорида. Исследователи разделили участников на четыре группы примерно по 700 человек в каждой. Одна из них была контрольной, а в трех

остальных проводились специальные занятия по тренировке памяти, логики и скорости переработки информации соответственно.

К концу эксперимента самые пожилые представители групп были объединены в маленькие группы и провели с ними 10 часовых занятий на протяжении пяти недель. Те, кто укреплял память, осваивали ассоциативные мнемонические стратегии. «Логиков» учили определять продолжение рядов, таких как «а, с, е, g, i...». Скорость переработки информации отшлифовывалась практикой распознавания на экране быстро меняющихся объектов.

Через пять лет исследователи попросили участников оценить, помогло ли обучение эффективнее справляться с ежедневными обязанностями. Также они проанализировали способность добровольцев быстро находить лекарства в аптеке. После обучения 87% из третьей группы, 74% «логиков» и 26% из тех, кто тренировал память, сообщили о заметном улучшении, в отличие от членов контрольной группы. «Если раньше третьей группе требовалось почти секунда, чтобы распознать объект на экране,

то после обучения им хватало менее 0,75 секунды, – рассказывает исследователь. – Обученная группа запомнила список из 12-15 слов, что в три-четыре раза больше по сравнению с контрольной группой».

Впоследствии выделенная подгруппа получала «дополнительное ускорение» – спустя год и спустя три года. Они лучше всего справлялись с такими заданиями, как поиск вещей в кладовке, расчет сдачи при покупке, а также поиск лекарств в аптеке.

Было выявлено, что обучение в значительной степени компенсировало возрастное снижение познавательных способностей, отмеченное в контрольной группе. Психологи высказывают надежду, что самые простые умственные упражнения могут сыграть ключевую роль в профилактике старческого маразма и других признаков снижения когнитивных способностей, которые поражают ежегодно во всем мире как минимум 24 млн. человек.

Исследователи планируют создать обучающие программы, которые были бы доступны людям и поощряли бы желание тренировать мозг.

Дэвид Биелло

Остановилось ли развитие Нашего мозга?

Человеческий мозг весит на 250% больше и содержит на 50% больше нейронов, чем мозг шимпанзе. Тело человека лишь на 20% тяжелее тела примата. Подобный прогресс за 8 млн. лет, после того как эти гоминиды разделились, может показаться невиданным. Как считает биолог-эволюционист из Чикагского университета Чунг-И Ву (Chung-I Wu), чем сложнее мозг, тем сложнее ему генетически совершенствоваться, т.к. экспрессия генов, отвечающих за его развитие, снижается.

Ву и его коллеги сравнили количество замен в генетическом коде, отвечающем за развитие мозга, печени и мускулатуры мышей, обезьян (макак и шимпанзе) и людей. Оказалось, что более сложные виды развивались в целом быстрее, чем более примитивные. Генетический аппарат, отвечающий за формирование мозговых структур, у последних, например, у мышей, развивался быстрее. Ву предполагает, что мозг человека не может эволюционировать столь быстро из-за бес-

численных взаимодействий между белками, препятствующих разрушающим их мутациям.

Ву предположил, что это связано с изменением экспрессии вновь приобретенных генов, число которых на нейрон в мозге человека намного больше, чем в мозге шимпанзе. Возможно, именно расширенная транскрипция и ответственна за формирование нейронной сети более высокого порядка, что ведет к большей сложности человеческого мозга.

Никхиль Сваминатан

ВУЛКАН — КЛИМАТИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

Во время извержения Пинатубо на Филиппинах в июне 1991 г., когда в атмосферу было выброшено 10 куб. км пепла и газа, ученые провели эксперимент. «Воспроизвести сложное климатическое явление в лаборатории практически невозможно, – говорит метеоролог Джоанна Фатьян (Joanna Futyán) из Колумбийского университета. – Мы стремимся использовать неожиданные “подарки” природы, наблюдая, как на них реагирует атмосфера».

Фатьян вместе с физиком Джоном Харрисом (John Harries) из Королевского колледжа Лондона проанализировала, как изменялись температура и влажность при извержениях вулканов, стремясь оценить энергетический баланс планеты. Спектр посылаемой в пространство энергии (он измеряется со спутника) за прошедшие 30 лет изменился, что является следствием глобального потепления. Однако темпы и абсолютную величину этого изменения измерить трудно, и исследо-

ватели вынуждены ориентироваться на оценку содержания водяного пара в атмосфере.

Реакция атмосферы на извержение Пинатубо оказалась очень скорой. Закрывающие Землю от Солнца аэрозоли сульфатов, выброшенные вулканом, оказывали охлаждающее действие в течение четырех месяцев. Спустя полгода планета излучала в пространство на 2,6 Вт/кв. м меньше тепла, чем до извержения. В результате постепенно начала снижаться влажность, и атмосфера снова достигла равновесия. Извержение вулкана сказалось также и на погоде. Поскольку было выброшено много диоксида серы, под действием ультрафиолета в верхних слоях атмосферы повысилось содержание легкого изотопа серы. Опускаясь на поверхность Земли, сульфат серы, несущий в себе специфическое сочетание изотопов, накапливался в некоторых областях, таких как ледовый щит Антарктики.

Дэвид Биелло

Форум «Оптика-2006»

Новейшие научные открытия и развитие оптического приборостроения опережают темпы внедрения в производство идей и технических решений. Лазерные технологии, волоконные оптические линии связи, новое поколение оптической вычислительной техники с элементами искусственного интеллекта – вот только некоторые результаты фундаментальных исследований, ждущих своего внедрения.

Второй международный форум «Оптика-2006», прошедший в декабре 2006 г. на ВВЦ, представил современные разработки, новейшие оптические и оптико-электронные приборы и технологии. Форум продолжил традицию профессиональных встреч в области оптики. В нем приняли участие известные ученые, специалисты, ведущие фирмы в области оптического и оптико-электронного приборостроения. Форум приветствовали руководитель Федерального агентства по промыш-

ленности Б.С. Алешин, заместитель Председателя Госдумы ФС РФ, Герой Советского Союза А.Н. Чилингаров, первый заместитель руководителя Департамента науки и промышленности Москвы Ф.П. Ковриго, президент Оптического общества им. Д.С. Рождественского В.Н. Васильев, ректор МГУПИК, летчик-космонавт, дважды Герой Советского Союза, чл.-корр. РАН В.П. Савиных, Генеральный директор ВВЦ М.Х. Мусаев.

Мероприятие проводилось при поддержке Министерства промышленности и энергетики РФ, Министерства образования и науки РФ, Правительства Москвы, Российской академии наук, Московской торгово-промышленной палаты, Российского отделения Международного общества по оптической технике (SPIE/RUS) и ряда других ведомств.

Организаторы форума приглашают предприятия и организации оптического профиля принять участие в третьем форуме «Оптика-2007», который состоится на ВВЦ в октябре-ноябре 2007 г.

Контактный тел.: +7 (495)981-8220
E-mail: ahlebnikov@Vvcentre.ru.



<http://www.Vvcentre.ru/optic>

Девственное размножение КОМОДСКИХ ВАРАНОВ

Особенности размножения драконов острова Комодо удивили работников зоопарков

Если обратиться к традиционным учебникам средней школы, то партеногенез (девственное размножение) обычно упоминается как редкий механизм, характерный главным образом для мелких беспозвоночных, например, равнокрылых стрекоз (*Zygoptera*) Азорских островов. Среди позвоночных такой способ воспроизводства почти не встречается.

Как оказалось, комодские вараны (*Varanus komodoensis*) или, как их еще называют, индонезийские драконы могут размножаться без участия мужских особей. Недавно две половозрелые самки варанов отложили неоплодотворенные, но жизнеспособные яйца. Одна из них, Флора, обитает в Честерском зоопарке в Англии и никогда не встречалась с самцами. Из 11 отложенных ею яиц 8 развиваются нормально. Прибавления ждут в январе. Другая самка из Лондонского зоопарка, Санджи, отложила 22 яйца. Из четырех яиц вылупились детеныши, хотя Санджи 2,5 года не контактировала с мужскими особями. Некоторые самки рептилий могут удерживать сперму самца в течение нескольких лет, так что первоначально исследователи полагали, что яйца Санджи появились не без участия партнера. Однако генетический анализ исключил это (если только не считать, что самец был генетически идентичен самке).

Потомство комодских варанов нельзя назвать клонами. Дело в том, что неоплодотворенное яйцо имеет только половину генов матери. Сперма, как предполагается, обеспечивает другую половину. При партеногенезе половинный набор материнских хромосом удваивается до полного путем дополнения. Следовательно, потомство получает все гены от матери, но эти гены не являются дубликатом ее генома.

У индонезийских драконов оригинальным способом определяется пол. Обычно у самок две X-хромосомы (XX), у самцов – XY. У варанов острова Комодо все наоборот. Самцы гигантского варана имеют две идентичные хромосомы, а различаются хромосомы у самок. Биологи обозначают половые хромосомы индонезийских драконов буквами W и Z, так что ZZ – самец, а WZ – самка. Подобная система половых хромосом встречается у птиц, некоторых насекомых и ящериц. (Эмбрионы некоторых рептилий – особенно крокодилов и черепах – вообще не имеют половых хромосом. Пол определяет температура инкубации.)

У самок варанов острова Комодо каждое откладываемое яйцо содержит либо W, либо Z-хромосому. Процесс партеногенеза приводит к формированию эмбрионов либо WW, либо ZZ. Жизнеспособно только сочетание ZZ. Так что в результате непорочного зачатия рождаются самцы.

Очевидно, что в случае с комодскими варанами происходит удвоение генов. Это происходит в яйце, а не в сперме. Овогенез (процесс развития женских половых клеток), сопровождается формированием полярита (полярного тельца) – своего рода мини-яйца с содержанием удвоенной копии ДНК яйца. Обычно полярит высыхает и погибает. В случае с драконами эти полярные тельца выступают в роли спермы, что и приводит к развитию эмбриона.

Способность и к половому, и к неполовому воспроизводству у комодских варанов обусловлена изолированностью среды обитания. По мнению биологов, эта особенность позволяет индонезийским драконам основывать новые колонии, когда самки в результате штормов оказываются на соседних островах.

Филипп Ям



ПОВЕСТЬ ОГНЕННЫХ ЛЕТ

В 1650–1749 гг. пожары бушевали по всему североамериканскому западу от района нынешней Британской Колумбии до северной Мексики. Исследуя следы ожогов от пожаров на более чем 4700 деревьях, ученые смогли создать подробную картину климатических условий, существовавших на западе США 450 лет назад.

Томас Светнам (Thomas Swetnam) из Университета штата Аризона с коллегами установили, что с 1550 г. на западном побережье произошло как минимум 33975 возгораний. Исследователи сравнили эту огневую летопись с погодой – циклами Эль-Ниньо и Ла-Ниньо, которые происходят каждые 2–7 лет, а также более длительными циклами Pacific Decadal Oscillation и Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO). Оказалось, что активность пожаров согласуется с периодами засухи.

В Тихом океане влияние северной Атлантики и повышение общего температурного фона почти не сказывалось на их динамике. Поскольку погода меняется, как правило, с востока на запад, представляется удивительным, как температура вод Атлантики действует на западную часть континента. Возможно, в этом ме-

ханизме задействованы полюса Земли, изменяющие влажность воздуха. Так, в 2006 г. на западе США зафиксировано, по крайней мере, 89 тыс. пожаров, когда в огне погибло 3,8 млн. га леса.

Период с середины 1970-х до конца 1980-х гг. был, если верить годовым кольцам, одним из самых дождливых в многовековой истории. По утверждению Светнама, остатки пожарищ и пастбищные угодья служат хорошей основой для начала роста сосновых лесов, что свидетельствует о том, что почва на западе США становится более сухой, а климат — жарким. Подобное изменение только подливает масло в пламя необузданных пожаров. «Нельзя научно доказать, что возгорания главным образом обусловлены влиянием таких циклов, как AMO, но такова тенденция», — утверждает Томас.

Даже если AMO – единственный фактор, определяющий колебание температур на западе США, данный регион все равно на многие десятилетия будет оставаться более засушливым. Таково заключение исследователей из Национальной академии наук США.

Дэвид Биелло

СВЕТ ЗВЕЗДЫ В КОНЦЕ ТУННЕЛЯ

На основе данных, собранных телескопом Слоановского Цифрового Обзора Неба, исследователи составили подробную карту квадранта небосвода и выявили угасающую звезду, окруженную разреженным газообразным диском, богатым на металлы. Это открытие, по мнению исследователей из британского Университета Ворвика, предполагает, что вокруг некогда массивной звезды вращается планета. По мнению астрономов, таково возможное будущее и Солнечной системы.

Исследуемый объект – белый карлик, известный как SDSS1228+1040. Он расположен в 463 световых годах от Земли в созвездии Дева. Масса звезды составляет 4-5 масс Солнца. (Звезды-прародители белых карликов могут иметь массу до восьми масс Солнца.) По оценкам, звезда-прародитель объекта SDSS1228+1040 в течение 70 млн. лет принадлежала главной звездной последовательности. Для сравнения, нашему Солнцу приблизительно 4,6 млрд. лет.

Могут ли звезды с коротким периодом жизни обеспечить время на формирование планет из остатков диска,

ставшего для них материалом? Новые результаты свидетельствуют в пользу того, что если эти «торопливые» звезды способны поддерживать собственные планетарные системы, то они могут и послужить моделью того, что случится с нашей Солнечной системой спустя миллиарды лет.

По расчетам, объект SDSS1228+1040 является белым карликом уже 100 млн. лет, и температура его поверхности – 22 тыс. °С. Для сравнения, температура поверхности нашего Солнца составляет примерно 55000°С. В ходе спектрального анализа материала, окружающего звезду, астрономы нашли линии эмиссии магния, железа и кальция. Эти данные, по мнению ученых, говорят о распределении «строительного мусора» в радиусе 804,5 км вокруг звезды. Исследователи полагают, что это кольцо – все, что осталось от астероида 50 км в диаметре, который некогда вращался вокруг звезды.

История формирования объекта SDSS1228+1040 представляется таковой. После того, как звезда выжигает весь водород в ядре, она превраща-

ется в красного гиганта, раздуваясь и захватывая весь доступный материал, включая планеты, отстоящие от звезды на расстоянии до 804,5 млн. км. Все планеты и астероиды за пределом этого радиуса будут вытолкнуты на более дальние орбиты. (По мнению исследователей, Солнце станет красным гигантом через 5–8 млрд. лет.) Как только внешние области красного гиганта рассеиваются в пространстве, звезда сжимается в сверхплотный белый карлик. Диаметр объекта SDSS1228+1040 составляет 1% от диаметра нашего Солнца, а масса – 75%. Этот белый карлик очень горячий, но и он постепенно выгорает и остывает.

Майкл Юра (Michael Jura), астроном из Калифорнийского университета, утверждает, что данное открытие может дать новую информацию о механизме образования малых экстрасоларных планет. Однако он относится скептически к мрачным прогнозам исследователей. «Ведь речь идет о звездах массой 4–5M, а у нас только 1M», — считает он.

Никхиль Свамнатан



Марио Ливио

10 ВАЖНЕЙШИХ ОТКРЫТИЙ «ХАББЛА»

Немногие телескопы могут похвастаться таким весомым вкладом в астрономические исследования, как космический телескоп «Хаббл»

Благодаря космическому телескопу мы расширили наши представления, пересмотрели предварительные теории и построили новые, подробнее объясняющие астрономические явления.

В апреле 2006 г. исполнилось 16 лет с тех пор, как «Хаббл» находится в космосе. Пока NASA борется за возобновление полетов шаттлов, телескоп продолжает дряхлеть. Если астронавты не смогут его отремонтировать, то к середине 2008 г. он окончательно выйдет из строя.

С помощью «Хаббла» было совершено десять важнейших открытий в астрономии. За последние годы, вместе с другими обсерваториями, «Хаббл» обнаружил два новых спутника Плутона, неожиданно (и парадоксально) — обширную галактику в очень молодой Вселенной, а также спутник с массой планеты у коричневого карлика, всеящего ненамного

больше самой планеты. Нам удалось уточнить характеристики Вселенной, которые прежде существовали лишь в нашем воображении.

1. Столкновение с кометой

По космическим масштабам столкновение кометы Шумейкеров-Леви 9 с Юпитером было рядовым событием: усеянные кратерами поверхности планет и их спутников показывают, что Солнечная система — настоящий тир. Но в масштабе жизни человека с таким событием можно столкнуться лишь однажды: в среднем комета врывается в планету раз в тысячу лет.

За год до гибели кометы Шумейкеров-Леви 9 полученные «Хабблом» изображения показали, что она раскололась на две дюжины фрагментов, которые растянулись в цепочку. Первый из них врезался в атмосферу Юпитера 16 июля 1994 г., а за ним в течение недели упали и остальные. На изображениях видны выбросы, похожие на гриб ядерного взрыва, поднимающиеся над горизонтом Юпитера, а затем оседающие и рассыпающиеся через 10 минут после столкновения. Но последствия взрыва наблюдались еще в течение нескольких месяцев.

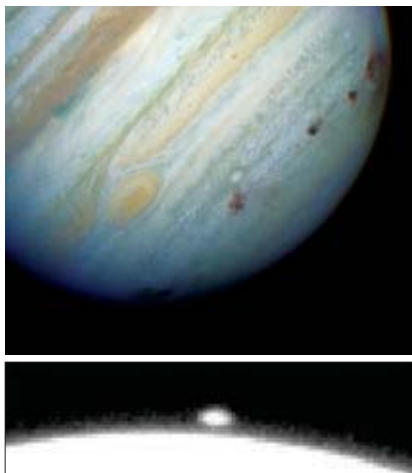
Следы столкновений помогают выяснить состав газового гиганта. От каждого из них волны разбежались со скоростью 450 м/сек. Судя по всему, это «тяжелые» волны, упругость

в которых создается силой плавучести. Характер распространения волн указывает, что отношение кислорода к водороду в атмосфере Юпитера может быть в 10 раз больше, чем на Солнце. Однако если Юпитер сформировался в результате гравитационной неустойчивости первичного газопылевого диска, то его состав должен быть таким же, как у диска, т.е. соответствовать химическому составу Солнца. Это противоречие так и остается неразгаданным.

2. Внесолнечные планеты

В 2001 г. Американское астрономическое общество обратилось к специалистам с просьбой выбрать наиболее значимое, с их точки зрения, открытие последнего десятилетия. По мнению большинства, им стало обнаружение планет вне Солнечной системы. Сегодня известно около 180 таких объектов. Значительная их часть найдена с помощью наземных телескопов по небольшим колебаниям звезды, вызванным гравитационным воздействием обращающейся вокруг нее планеты. Пока такие наблюдения дают минимум информации: только размер и эллиптичность орбиты планеты, а также нижний предел ее массы.

Исследователи сосредоточились на тех планетах, орбитальные плоскости которых ориентированы вдоль нашего луча зрения. Наблюдение при помощи «Хаббла» первого ▶



Восемь мест столкновений (темные пятна, некоторые наложились друг на друга и едва различимы), повредивших южное полушарие Юпитера, видны на изображении, полученном 22 июля 1994 г. На нижнем снимке: выброс, похожий на ядерный гриб, над лимбом планеты через 6 минут после столкновения 16 июля

из обнаруженных прохождений спутника звезды *HD 209458* дало наиболее полную информацию о планете вне Солнечной системы. Она на 30% легче Юпитера, но при этом настолько же больше его в диаметре, возможно, потому, что излучение близкой звезды заставило ее раздуться. Данные «Хаббла» достаточно точны, чтобы выявить широкие кольца и массивные спутники, но их не оказалось. «Хаббл» впервые определил химический состав планеты вблизи другой звезды. В ее атмосфере содержатся натрий, углерод и кислород, а водород испаряется в пространство, создавая кометообразный хвост. Эти наблюдения — предтеча поисков химических признаков жизни в далеких уголках Галактики.

ОБ АВТОРЕ

Марио Ливьо (Mario Livio) — астроном, изучающий темную энергию, вспышки сверхновых, внесолнечные планеты и аккрецию на компактные объекты. Работает в Институте космических телескопов в Балтиморе. Его последняя книга «Уравнение, не имеющее решения» (*The Equation That Couldn't Be Solved*) посвящена симметрии и ее роли в различных областях.

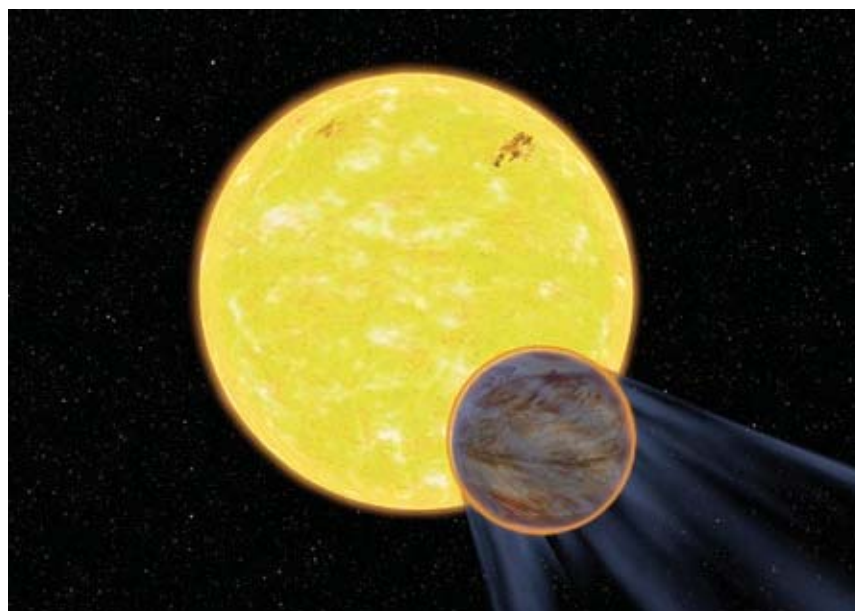
3. Агония звезд

Согласно теории, звезда с массой от 8 до 25 масс Солнца завершает свою жизнь взрывом сверхновой. Исчерпав запасы топлива, она резко теряет способность удерживать собственный вес. Ее ядро коллапсирует, превращаясь в нейтронную звезду — массивный, сверхплотный объект, а внешние слои газа выбрасываются в пространство со скоростью 5% от скорости света. Но проверить данную теорию нелегко, поскольку в нашей Галактике сверхновые не взрывались с 1680 г. Однако 23 февраля 1987 г. астрономам улыбнулась удача: произошел взрыв сверхновой в соседней галактике, спутнике Млечного Пути, — Большом Магеллановом Облаке. В этот момент «Хаббл» еще не был запущен, но через 3 года он начал отслеживать процесс и вскоре открыл три кольца, окружающие взорвавшуюся звезду. Центральное видно на месте узкой перемычки у газового облака, имеющего форму песочных часов, а большие кольца — края двух чашеобразных полостей, вероятно, образованных звездой за несколько десятков тысяч лет до взрыва. В 1994 г. «Хаббл» начал фиксировать яркие пятна, возникающие одно за другим на центральном кольце:

это в него врезался выброс сверхновой. Наблюдения за агонией звезды продолжают.

В отличие от своих более массивных собратьев, звезды типа Солнца умирают более элегантно, сбрасывая свои внешние газовые слои постепенно, без взрыва. Это длится около 10 тыс. лет. Когда горячее центральное ядро звезды обнажается, оно ионизует своим излучением извергнутый газ, заставляя его светиться ярко-зеленым (ионизованный кислород) и красным (ионизованный водород). В результате возникает планетарная туманность. Сегодня их известно около 2 тыс. «Хаббл» показал их необычайно сложные формы в тончайших деталях. В некоторых туманностях наблюдается несколько концентрических кругов, похожих на бычий глаз, что свидетельствует об эпизодическом, а не непрерывном выбросе газа. Причем предполагаемое время между двумя выбросами составляет примерно 500 лет, что слишком долго для динамических пульсаций (при которых звезда сжимается и расширяется в результате противоборства гравитации и газового давления) и слишком быстро для тепловых пульсаций (при которых звезда выходит из равновесного состояния).

Силуэт планеты нарисован художником на основе блеска звезды, измеренного космическим телескопом «Хаббл»



DON DIXON (illustration); NASA AND HUBBLE SPACE TELESCOPE COMET TEAM (bottom); NASA AND STSCI (top)

Истинная же природа наблюдаемых колец остается неясной.

4. Космическое рождение

Установлено, что узкие и быстрые струи газа свидетельствуют о рождении звезды. Формируясь, она может извергнуть две тонкие струи длиной в несколько световых лет. Согласно одной из гипотез, крупномасштабное магнитное поле пронизывает газопылевой диск, окружающий молодую звезду. Ионизованное вещество, вынужденное течь вдоль магнитных силовых линий, располагается как бусины на вращающейся нитке. Наблюдения «Хаббла» подтвердили теоретический прогноз, согласно которому струи рождаются в центре диска.

В то же время данные, полученные «Хабблом» опровергли другое предположение, касавшееся околосветных дисков. Считалось, что они сидят так глубоко в родительском облаке, что увидеть их невозможно. «Хаббл» же обнаружил с дюжину протопланетных дисков — проплидов, часто заметных в виде силуэта на фоне туманности. По крайней мере половина изученных молодых звезд обладает такими дисками, свидетельствующими о том, что сырьем для формирования планет в Галактике достаточно.

5. Галактическая археология

Астрономы считают, что крупные галактики, такие как Млечный Путь и наша соседка туманность Андромеды, выросли, поглощая мелкие галактики. Признаки «галактического каннибализма» должны быть заметны по расположению, возрасту, составу и скоростям входящих в них звезд. Благодаря наблюдениям «Хаббла» за звездным гало (слабым сферическим облаком звезд и звездных скоплений вокруг основного галактического диска) туманности Андромеды, исследователи обнаружили, что в гало входят различающиеся по возрасту звезды: у самых старых он достигает 11–13,5 млрд. лет, а у самых юных — 6–8 млрд. лет. Последние, должно быть, случайно забрели сюда из какой-то молодой



Изображение, полученное «Хабблом»

Когда ударная волна от сверхновой 1987A достигла ранее существовавшего газового кольца, запылали горячие пятна. Художественная реконструкция

галактики (например, из поглощенной галактики-спутника) или же из более ранней области самой Андромеды (например, из диска, если часть его разрушилась при близком прохождении небольшой галактики или столкновении с ней). В гало нашей галактики нет заметного числа относительно молодых звезд. Так что при всей схожести формы туманности Андромеды и Млечного Пути, как показывают наблюдения «Хаббла», истории двух галактик значительно отличаются друг от друга.

6. Сверхмассивные черные дыры

С 1960-х гг. астрономы получили доказательства того, что источником энергии квазаров и других активных ядер галактик служат гигантские черные дыры, захватывающие окружающее их вещество. Наблюдения «Хаббла» подтверждают данную теорию. Почти у каждой детально наблюдавшейся галактики нашлись указания на спрятанную в ее центре черную дыру. Особенно важными оказались два обстоятельства. Во-первых, изображения квазаров, полученные с высоким угловым разрешением, показали, что они располагаются в ярких эллиптических или взаимодействующих галактиках. Это говорит о том, что нужны особые условия, чтобы питать центральную черную дыру. Во-вторых, масса гигантской черной дыры тесно коррелирует с массой сферического



Туманность Кошачий глаз — одна из самых сложных среди известных планетарных туманностей, которые образуются умирающими звездами типа Солнца

звездного балджа, окружающего галактический центр. Корреляция свидетельствует о том, что формирование и эволюция галактики и ее черной дыры тесно связаны.

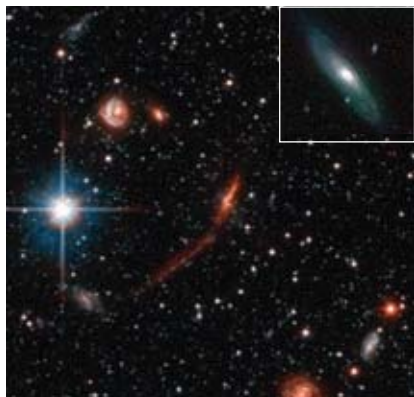
7. Самые мощные взрывы

Гамма-всплески — короткие вспышки гамма-излучения, длящиеся от нескольких миллисекунд до десятков минут. Их разделяют на два типа в зависимости от их длительности. Границей считаются примерно 2 секунды: в более длительных вспышках образуются менее энергичные фотоны, чем в более коротких. Наблюдения, проведенные Комптоновской гамма-обсерваторией, рентгеновским спутником *BeppoSAX* и наземными обсерваториями, позволили предположить, что продолжительные вспышки возникают ▶

Пылевые диски, похожие на уродливых амеб, окружают формирующиеся звезды в туманности Ориона. Площадь каждого изображения — 2040 а.е.



NASA, ESA, STSCI AND CHRISTOPHER BURROWS (inset), DON DIXON (top left), NASA, ESA, HEIC AND HUBBLE HERITAGE TEAM STSCL/AURA (top right); NASA, J. BALLY University of Colorado, H. THROOP Southwest Research Institute AND C.R. O'DELL, Vanderbilt University (bottom).

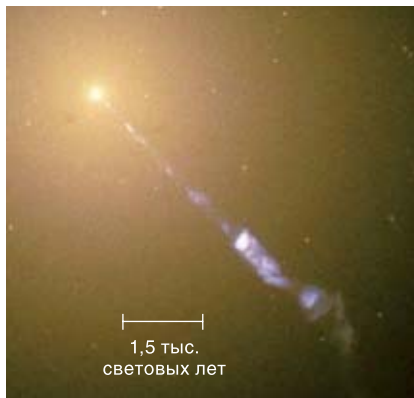


Странные молодые звезды на окраине Туманности Андромеды (на врезке) могут быть «осколками» столкновения галактик

при коллапсе ядер массивных короткоживущих звезд, иными словами, звезд типа сверхновой. Но почему только малая доля сверхновых дает гамма-всплески?

«Хаббл» обнаружил, что несмотря на то, что во всех областях звездообразования в галактиках вспыхивают сверхновые, продолжительные гамма-всплески сконцентрированы в наиболее ярких областях, как раз там, где сосредоточены самые массивные звезды. Более того, продолжительные гамма-всплески чаще всего возникают в небольших, неправильных, бедных тяжелыми элементами галактиках. И это важно, поскольку дефицит тяжелых элементов в массивных звездах делает их звездный ветер менее мощным, чем у звезд, богатых тяжелыми элементами. Поэтому на протяжении

Плазменная струя, бьющая из галактики M 87, по-видимому, генерируется аккрецирующей черной дырой массой в 3 млрд. масс Солнца

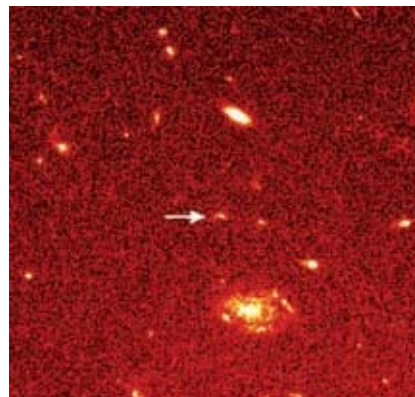


жизни бедные тяжелыми элементами звезды сохраняют большую часть своей массы и, когда приходит время взрываться, они оказываются более массивными. Коллапс их ядер приводит к образованию нейтронной звезды, а черной дыры. Астрономы считают, что продолжительные гамма-всплески вызваны тонкими струями, выброшенными быстро вращающимися черными дырами. Решающим факторами для того, чтобы коллапс ядра звезды вызвал мощный гамма-всплеск, являются масса и скорость вращения звезды в момент ее смерти.

Отождествление коротких гамма-всплесков оказалось более сложным. Только в последние годы несколько таких событий произошло и было зафиксировано с помощью спутников *HETE 2* и *Swift*. «Хаббл» и Рентгеновская обсерватория «Чандра» установили, что энергия таких вспышек слабее, чем продолжительных, и возникают они в совершенно разных типах галактик, включая и эллиптические, где звезды сейчас почти не формируются. Похоже, что короткие вспышки связаны не с массивными, короткоживущими звездами, а с остатками их эволюции. Согласно наиболее популярной гипотезе, короткие гамма-всплески возникают при слиянии двух нейтронных звезд.

8. Край Вселенной

Одна из фундаментальных задач астрономии — исследовать развитие галактик и их предков во временном интервале, максимально приближенном к моменту Большого взрыва. Чтобы понять, как выглядел когда-то наш Млечный Путь, исследователи решили получить изображения галактик различного возраста — от самых юных до самых старых. Чтобы запечатлеть наиболее далекие (а значит, самые древние) галактики, «Хаббл» совместно с другими обсерваториями получил с длительными экспозициями изображения нескольких маленьких участков неба: глубокие снимки «Хаббла», сверхглубокий снимок «Хаббла» и глубокий обзор Великих обсерваторий NASA «Происхождение».

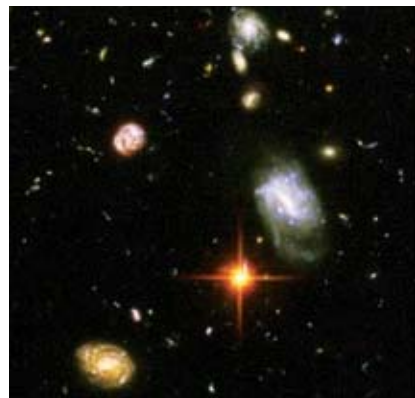


Галактика, в которой наблюдался гамма-всплеск 971214, выглядит как небольшое пятнышко (указано стрелкой)

Сверхчувствительные снимки показывают галактики во Вселенной, когда ей было лишь несколько сотен миллионов лет, что составляет всего 5% от ее нынешнего возраста. Тогда галактики были меньше размером и имели менее правильную форму, чем теперь, чего и следовало ожидать, если современные галактики образовывались путем слияния маленьких галактик (а не путем распада более крупных). Создаваемый сейчас космический телескоп «Джеймс Уэбб», наследник «Хаббла», сможет проникнуть в еще более далекие эпохи.

Глубокие снимки позволяют также проследить, как изменялась интенсивность звездообразования во Вселенной от эпохи к эпохе. Похоже, что она достигла своего пика примерно 7 млрд. лет назад, а затем

Далекие галактики, в миллиарды раз более слабые, чем может увидеть невооруженный глаз, зафиксированы на сверхглубоких снимках «Хаббла».



NASA, ESA AND T.M. BROWN STSCI (top left); BILL SCHOENING, VANESSA HARVE VIREO PROGRAM/NOAO/AURA, NSF (inset); NASA AND HUBBLE HERITAGE TEAM STSCI/AURA (bottom left); NASA, S.F.R. KULKARNI AND S.G. DJORGovski California Institute of Technology AND CALTECH GRB TEAM (top right); NASA, ESA, S. BECKWITH STSCI AND HUBBLE ULTRA-DEEP FIELD TEAM (bottom right).



Пulsирующие звезды-цефеиды служат надежными «маяками» для оценки межгалактических расстояний

постепенно ослабла примерно в десять раз. В молодости Вселенной (т.е. в возрасте 1 млрд. лет) скорость звездообразования уже была велика и составляла 1/3 ее максимального значения.

9. Возраст Вселенной

Наблюдения Эдвина Хаббла и его коллег в 1920-х гг. показали, что мы живем в расширяющейся Вселенной. Галактики разбегаются друг от друга так, как будто бы пространство Вселенной равномерно растягивается. Постоянная Хаббла (H_0), указывающая современную скорость расширения, позволяет определить возраст Вселенной. Объяснение простое: постоянная Хаббла — это скорость разбегания галактик, поэтому, если пренебречь ускорением и торможением, величина, обратная H_0 , дает время, когда все галактики были рядом. Кроме того, значение постоянной Хаббла играет принципиальную роль для роста галактик, формирования легких элементов и установления продолжительности фаз космической эволюции. Не удивительно, что точное измерение постоянной Хаббла было с самого начала основной целью одноименного телескопа.

На практике для вычисления данной величины требуется измерить расстояния до ближайших галактик, а это гораздо более трудная задача, чем считалось в XX в. «Хаббл» детально исследовал цефеиды — звезды с характерными пульсациями, периоды которых указывают

на их истинный блеск, а значит, и на расстояние до них, — в 31 галактике. Точность полученного значения постоянной Хаббла составила около 10%. В совокупности с результатами измерений реликтового излучения это определяет возраст Вселенной — 13,7 млрд. лет.

10. Ускоряющаяся Вселенная

В 1998 г. две независимые группы исследователей пришли к поразительному выводу: расширение Вселенной ускоряется. Обычно астрономы считали, что Вселенная тормозится, поскольку притяжение галактик друг к другу должно замедлять их разбегание. Сложнейшая загадка современной физики — вопрос о том, что вызывает ускорение. Согласно рабочей гипотезе, во Вселенной содержится невидимая составляющая, называемая «темной энергией». Совокупность наблюдений

«Хаббла», наземных телескопов и измерений реликтового излучения указывает, что в этой темной энергии содержится 3/4 полной плотности энергии Вселенной.

Ускоренное расширение началось примерно 5 млрд. лет назад, а до того момента оно тормозилось. В 2004 г. «Хаббл» обнаружил шестнадцать далеких сверхновых. Данные наблюдения накладывают основательные ограничения на теории о том, чем может быть темная энергия. Простейшая (и наиболее загадочная) возможность заключается в том, что энергия принадлежит самому пространству, даже если оно совершенно пустое. Сегодня наблюдение далеких сверхновых остается лучшим методом изучения темной энергии. Роль «Хаббла» в исследовании темной энергии огромна, поэтому астрономы будут благодарны NASA, если телескоп будет сохранен. *

Сопоставление разных по времени снимков привело не только к обнаружению далекой сверхновой, но и к выявлению ускоренного расширения Вселенной



DON DIXON (top); NASA AND J. BLAKESLEE (Johns Hopkins University) (bottom)

Юджин Паркер

КАК ЗАЩИТИТЬ КОСМИЧЕСКИХ ПУТЕШЕСТВЕННИКОВ

В научно-фантастических рассказах путешественникам обычно угрожают страшные монстры, блуждающие астероиды или звездные корабли инопланетян. Но в действительности наибольшую угрозу людям в космосе несут быстрые элементарные частицы, называемые космическими лучами. В длительных полетах они облучают людей и могут вызывать у них рак. Большинство проблем, встающих перед покорителями космоса, могли бы решить инженеры



За год, проведенный человеком в межпланетном пространстве, космические лучи способны уничтожить треть его ДНК. Как защитить космонавтов?

В 1912 г. австрийский физик Виктор Гесс, поднимаясь на воздушном шаре, заметил, что чем выше он взлетал, тем быстрее разряжался электроскоп. Причиной ионизации воздуха, делавшей его проводником электричества, было нечто таинственное, приходящее из космоса и названное космическими лучами.

К 1950 г. физики поняли, что космические лучи представляют собой ионы, главным образом, протоны с небольшой примесью более тяжелых ядер, бомбардирующие верхние слои атмосферы. Большая их часть приходит из-за пределов Солнечной системы, но что разгоняет их до скорости, близкой к скорости света, до сих пор остается загадкой.

Вопреки распространенному мнению, от атаки космических лучей нас защищает не магнитное поле Земли, а толстый слой атмосферы, где на каждый квадратный сантиметр поверхности приходится килограмм воздуха. Влетев в атмосферу Земли, космический протон в среднем преодолевает всего лишь 1/14 ее высоты (столб в 70 г) и на высоте 20–25 км соударяется с ядром атома воздуха. Остальная часть атмосферы поглощает осколки этого столкновения. Удар по ядру выбивает из него протон, или нейтрон, или и то и другое, и вызывает ливень гамма-лучей высокой энергии и частиц

пи-мезонов, пионов. Каждый гамма-квант проникает вглубь атмосферы и завершает свой путь рождением электрона и его античастицы — позитрона. Аннигилируя, эти частицы рожают новые гамма-кванты, но уже более низкой энергии, и так продолжается до тех пор, пока гамма-лучи не станут слишком слабыми для рождения частиц. А тем временем пионы быстро распадаются на мю-мезоны, мюоны, которые проникают до Земли.

Ежегодная доза облучения человека космическими лучами составляет около 0,03 бэр (зависит от высоты над уровнем моря), что эквивалентно облучению от двух рентгеновских снимков груди и вполне безопасно. Совершенно другое дело, когда человек оказывается за пределами атмосферы Земли, где бомбардировка космическими лучами намного сильнее, и сквозь его тело за секунду может пронестись около 5 тыс. ионов, способных разрушить химические связи в организме и вызвать такой же каскад вторичных частиц, как в атмосфере.

Несмотря на то, что тяжелых ядер в космических лучах существенно меньше, чем протонов, наносимый ими вред так же велик, а то и больше, поскольку он пропорционален квадрату электрического заряда. Например, ядро железа наносит в 676 раз больше ущерба, чем протон.

Неделя или даже месяц такого облучения не дадут серьезных последствий, но несколько лет путешествия к Марсу — это уже другая история. По оценке NASA, каждый год космические лучи уничтожали бы в теле космонавта около трети ДНК.

Требуется защита

Уоллес Фридберг (Wallace Friedberg) и его коллеги из Института авиакосмической медицины Федерального управления гражданской авиации в Оклахома-Сити исследовали возможное воздействие космических лучей на организм человека, отправляющегося на Марс. В их отчете, опубликованном в августе 2005 г., говорится, что в ходе полета к Марсу космонавты будут получать дозу не менее 80 бэр в год. Для сравнения: предельно допустимая доза для работников атомных электростанций в США составляет 5 бэр в год. В итоге естественные биологические механизмы восстановления организма человека могут не справиться с нагрузкой, и от рака погибнет каждый десятый отправившийся в космос мужчина и каждая шестая женщина. Кроме того, тяжелые ядра могут стать причиной катаракты глаза и повреждений мозга.

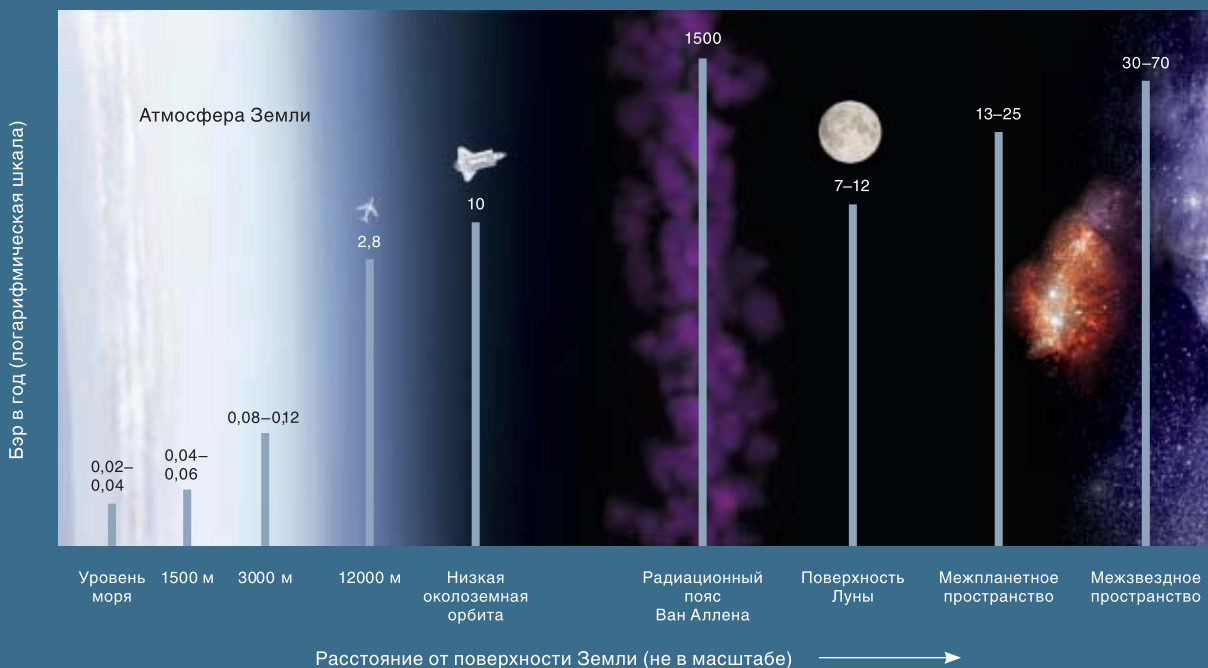
Постоянный поток космических лучей — не единственный источник радиации. На Солнце тоже могут происходить гигантские выбросы ▶

ОБЗОР: ОПАСНОСТЬ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

- * Галактика пронизана быстро движущимися частицами, способными разрушать ДНК и другие молекулы. На поверхности Земли человека защищает от космической радиации масса воздуха. Космонавты на низких околоэкваториальных орбитах защищены магнитным полем Земли. Но здоровью тех, кто надолго отправится в путешествие к другим планетам, грозит серьезная опасность.
- * Сферическая оболочка из воды или пластмассы могла бы защитить космических путешественников, но ее масса составит не менее 400 т — слишком много даже для мощной ракеты. Магнит из сверхпроводящих материалов мог бы отклонять космические частицы, но весил бы около 9 т.
- * Специалисты по биомедицине должны определить, какую дозу долговременного облучения способен вынести человек, и могут ли лекарства стимулировать естественный процесс восстановления.

КАКОМУ РИСКУ ПОДВЕРГАЮТ СЕБЯ КОСМОНАВТЫ?

Космические путешествия могут быть очень опасны для здоровья. На диаграмме показаны оценки годичной дозы облучения космическими лучами. Бэр (биологический эквивалент рентгена) — стандартная единица радиационного облучения. За год межпланетного путешествия космонавт получит большую дозу, чем работник атомной станции за всю жизнь. Солнечные вспышки и ван-алленовские радиационные пояса Земли смертельно опасны для человека.



протонов и более тяжелых ядер, движущихся почти со скоростью света. Иногда такие выбросы в течение часа добавляют пару сотен бэр радиации, т.е. смертельную дозу для незащищенного космонавта. Известный пример — гигантская вспышка 23 февраля 1956 г. Какие бы меры ни принимались для отражения космических лучей, они должны быть предприняты и против солнечных бурь. Но и в этом случае было бы разумно наметить путешествие к Марсу в период минимума солнечной активности.

Признавая радиационную угрозу, аэрокосмическое агентство учредило в 2003 г. Программу защиты от космической радиации в Центре управления космическими полетами Маршалла NASA в Хантсвилле, шт. Алабама. Сначала было решено обезопасить космонавтов при помощи слоя какого-либо вещества, по аналогии с атмосферой Земли. Вторая

идея — отклонять космические лучи магнитным полем, более сильным, чем магнитное поле Земли, обеспечивающее некоторую защиту экваториальным областям и Международной космической станции. Позже родилась мысль сообщить космическому кораблю положительный заряд, способный отталкивать положительно заряженные ядра. В августе 2004 г. NASA устроило двухдневную встречу в Мичиганском университете в Анн-Арборе для оценки состояния дел. Вывод оказался неутешительным: пока не ясно, как решить проблему космических лучей.

Силовое поле

В рамках Программы защиты от космической радиации предложено несколько вариантов предохранения космонавтов от воздействия космических лучей. Как земная атмосфера спасает от радиации жителей нашей планеты, так же и слой

защитного вещества может обеспечить безопасность людям, находящимся в космическом аппарате или на орбитальной станции. Если на каждый квадратный сантиметр земной поверхности оказывает давление килограмм воздуха, то в космосе можно использовать тот же килограмм, только защитного вещества, на каждый квадратный сантиметр поверхности аппарата. Хватит и 500 г, которые эквивалентны массе воздуха выше 5500 м (при меньшей массе защитный материал не сможет поглощать вторичные частицы).

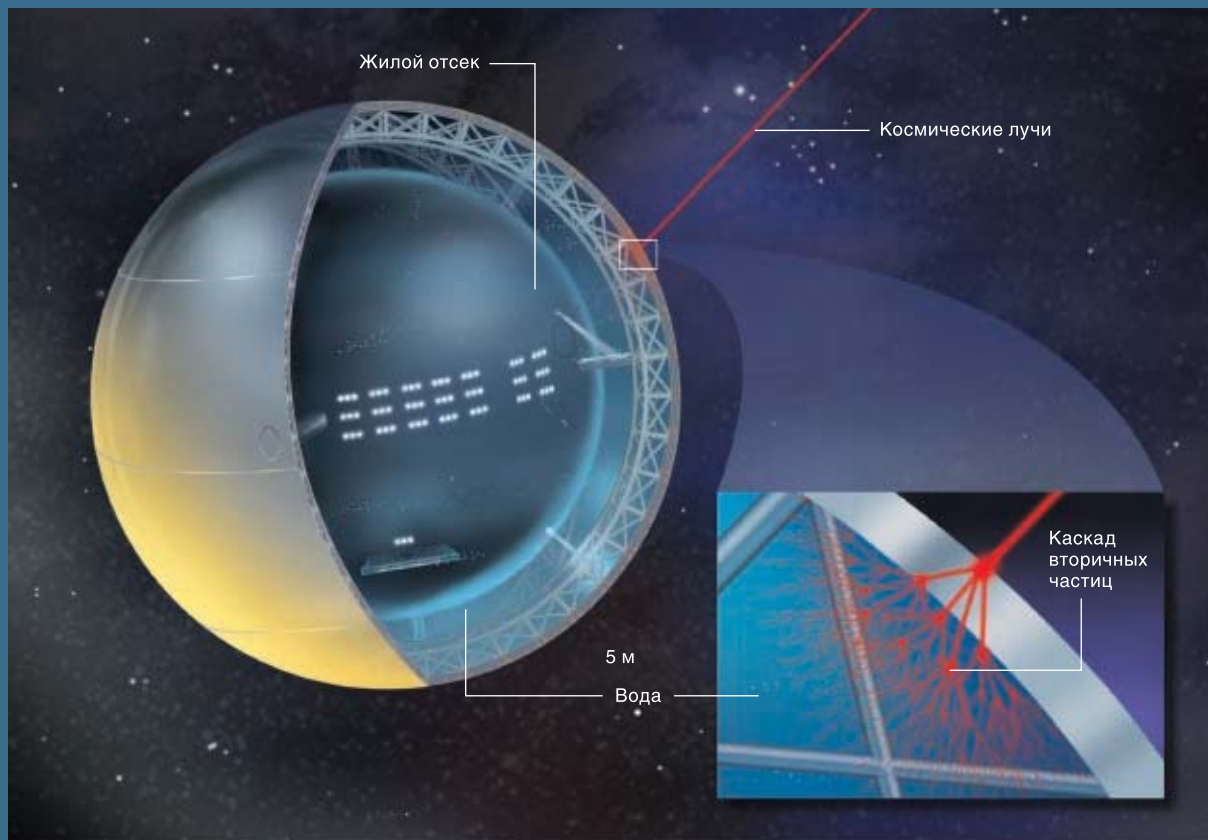
Если попробовать использовать воду, которая в любом случае необходима космонавтам, то потребуется слой толщиной 5 м. При этом масса сферического водного резервуара, окружающего маленькую капсулу, приблизится к 500 т. Для сравнения: максимальная грузоподъемность шаттла составляет

ПЛАН 1: ЗАЩИТА ВЕЩЕСТВОМ

Толстый слой вещества вокруг космонавтов поглощает падающую радиацию и вторичные частицы. Сферическая водяная оболочка толщиной 5 м создает такую же защиту, как атмосфера Земли на высоте 5 500 м.

ЗА: Простой принцип, гарантированное действие

ПРОТИВ: Слишком большая масса



около 30 т. Вода, богатая водородом, в отличие от веществ, содержащих более тяжелые элементы, где дополнительные протоны и нейтроны в их ядрах затеняют друг друга, ограничивая взаимодействие с пролетающими космическими частицами, могла бы создать надежную защиту. Для увеличения содержания водорода можно было бы использовать этилен (C_2H_4), полимеризующийся в полиэтилен, т.е. твердое вещество, для хранения которого не нужны резервуары. Но даже в этом случае необходимая масса составила бы не менее 400 т. Чистый водород был бы легче, но для него нужен массивный герметичный бак.

Была предложена и другая схема защиты человека на орбите, которую можно назвать магнитной схемой. На заряженную частицу, движущуюся поперек магнитного поля, действует сила, направлен-

Земли на низких широтах, заряженная частица, если она не слишком энергична, отбрасывается обратно в космическое пространство. Космический корабль с мощным магнитом делал бы то же самое.

Космические лучи могут стать причиной катаракты, повреждений мозга, раковых заболеваний

ная перпендикулярно направлению движения. В зависимости от конфигурации линий поля частица может отклоняться почти в любую сторону или выйти на круговую орбиту, где она будет вращаться бесконечно. Приближаясь к магнитному полю

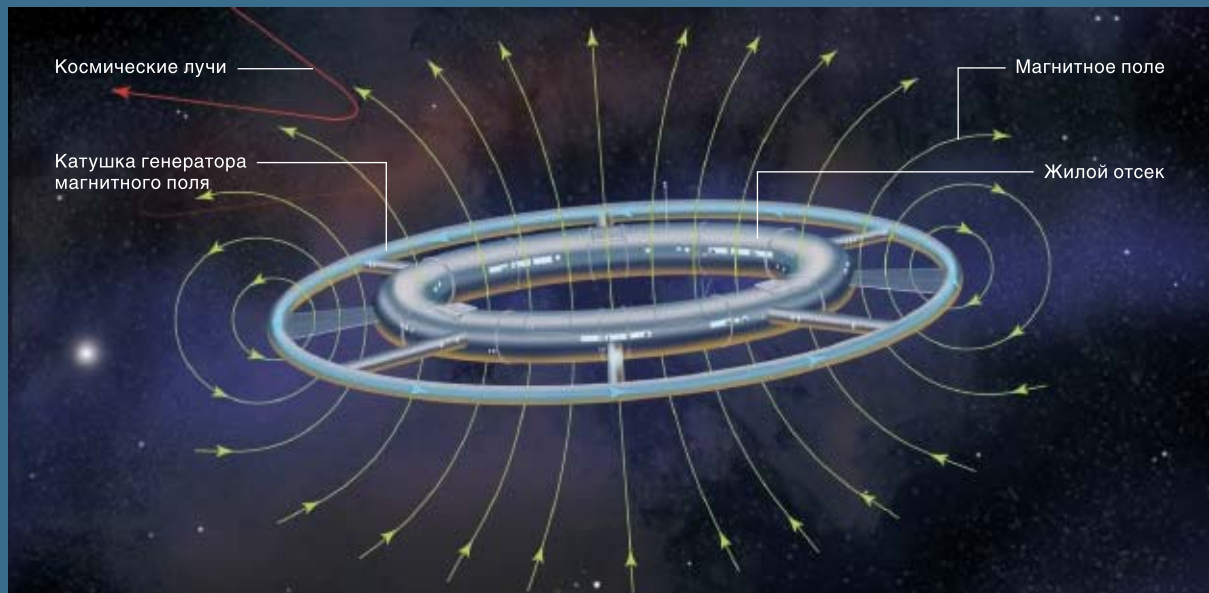
Каждый протон космических лучей обладает огромной кинетической энергией, поэтому для защиты космонавтов нужно отразить протоны с энергией 2 ГэВ. Чтобы остановить их на расстоянии в несколько метров, потребуется магнитное ▶

ПЛАН 2: МАГНИТНАЯ ЗАЩИТА

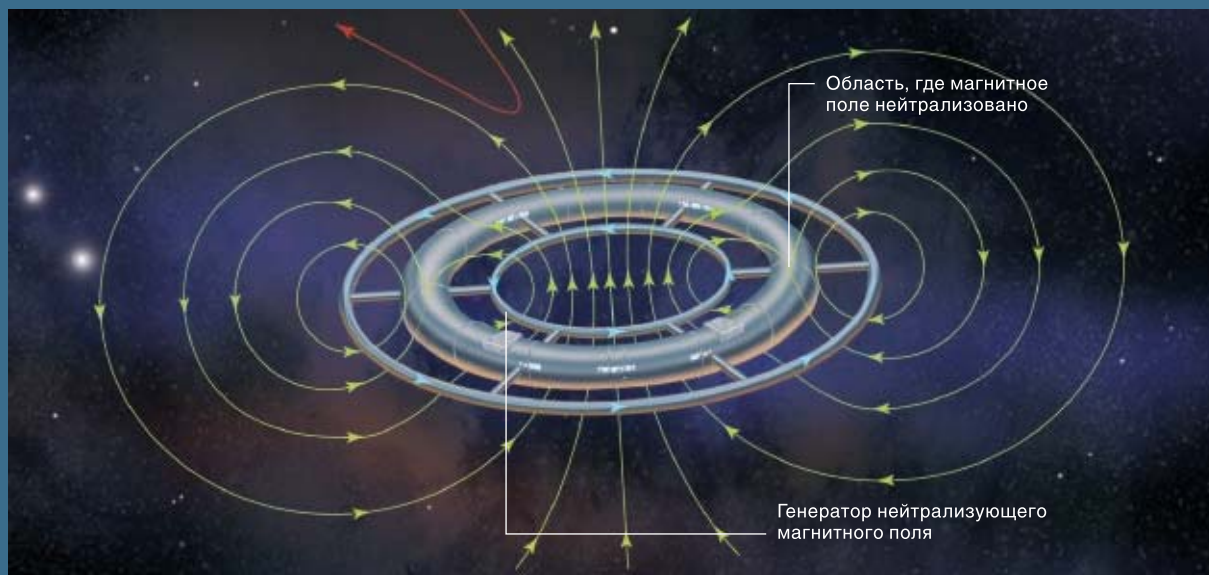
Электромагнит отталкивает падающие частицы обратно в космос. Чтобы отразить основной поток космических лучей с энергиями до 2 ГэВ, требуется магнитное поле в 600 тыс. раз сильнее земного на экваторе.

ЗА: Намного легче, чем защита веществом

ПРОТИВ: Не обеспечит защиту вдоль оси



Для подавления поля внутри жилого отсека необходимо добавить второе, внутреннее электромагнитное кольцо. Но подавление будет лишь частичным и при этом существенно усложнит систему.



поле с индукцией 20 Тл, что примерно в 600 тыс. раз сильнее магнитного поля Земли на экваторе. Для создания такого поля требуется электромагниты на основе сверхпроводимости, использующиеся в

ускорителях частиц. Сэмюэль Тинг (Samuel C.C.Ting) из Массачусетского технологического института возглавил группу, спроектировавшую такую систему массой всего 9 т, гораздо более легкую, чем защита

веществом, но все равно слишком тяжелую, чтобы везти ее с собой на Марс и обратно.

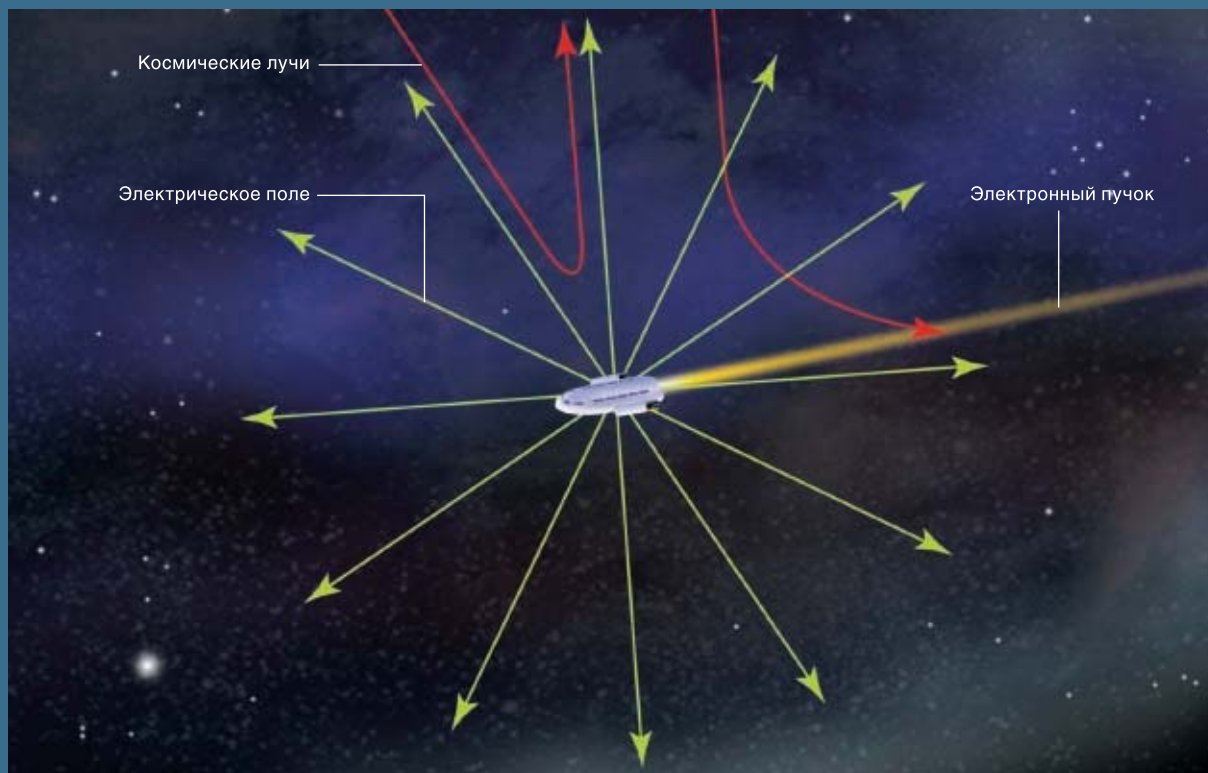
У магнитной схемы есть слабые места: магнитное поле не обеспечивает защиту вблизи полюсов, где

ПЛАН 3: ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА

Выбрасывая в пространство пучок электронов, корабль приобретает положительный заряд, который отталкивает космические лучи. Чтобы отклонить частицы с энергиями до 2 ГэВ, корабль должен быть заряжен до 2 ГВ.

ЗА: Нет брешей в защите; нет опасного магнитного поля

ПРОТИВ: Возникает опасный приток отрицательно заряженных частиц; требуется электрическое поле гигантского напряжения



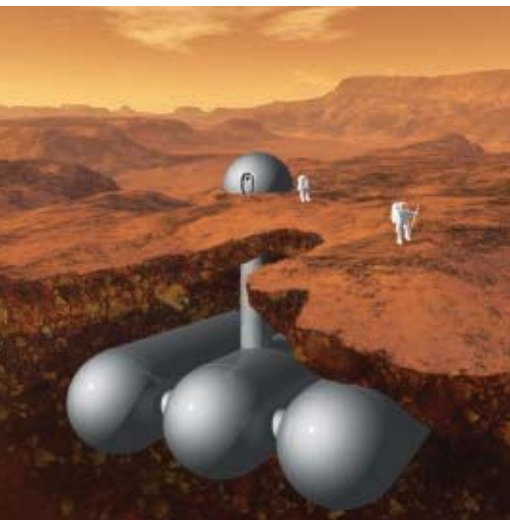
частицы движутся параллельно полю, а не поперек. Именно поэтому магнитное поле Земли дает слабую защиту тем, кто живет вдали от экватора. Чтобы космонавтам ничего не угрожало, жилой отсек космического корабля должен иметь форму бублика. Кроме того, людям придется жить в магнитном поле с индукцией 20 Тл, и никто не знает, какие это вызовет биологические последствия. Физик-экспериментатор из Чикагского университета Джон Маршалл (John Marshall) рассказал мне много лет назад, что, когда он сунул голову в поле с индукцией 0,5 Тл между полюсами магнита старого ускорителя частиц, любое движение головы вызывало вспышки в глазах, а во рту появился кис-

лый привкус, вероятно, вызванный электролизом в слюне. Учитывая, что поле может так сильно воздействовать на химические процессы, происходящие в организме человека, необходимо провести лабораторные эксперименты. Возможно, инженерам придется нейтрализовать поле в пределах жилых помещений, используя компенсирующий электромагнит. Естественно, наличие второго магнита заметно усложнит систему.

Некоторые исследователи предложили использовать поле, простирающееся намного дальше, чем на несколько метров. Поле можно расширить, используя плазму: известно, что ионизированный газ солнечного ветра переносит магнитное

ОБ АВТОРЕ

Юджин Паркер (Eugene Parker) — специалист по межпланетному газу и магнитным полям. Еще в 1958 г. он предположил наличие солнечного ветра и объяснил его действие. Паркер разработал современную теорию солнечного магнитного поля, включая пересоединение силовых линий. Заслуженный профессор физики Чикагского университета и член Национальной академии наук, Паркер получил множество премий, включая Американскую национальную медаль по науке. Он почетный лектор фонда Генри Норриса Рассела в Американском астрономическом обществе и обладатель Киотской премии по фундаментальным наукам.



Разреженная атмосфера Марса слабо защищает от космических лучей. Перспектива постоянного поселения зависит от того, смогут ли биологи разработать лекарство от радиации

поле Солнца на большие расстояния. Защитники этого метода утверждают что такое «раздутое» поле не должно быть сильным: достаточно индукции около 1 Тл. К сожалению, они забывают о неустойчивости плазмы. Последние 50 лет в лабораториях тщетно пытаются удержать плазму в магнитном поле, чтобы использовать ее в энергетических установках термоядерного синтеза. Опыты доказали способность плазмы ускользать при любой попытке управлять ею. Впрочем, даже если удастся использовать плазму для расширения магнитного поля, она скорее ослабит защиту, чем усилит ее. Линии поля радиально вытянутся во все стороны, и влетающему протону придется пересекать меньше силовых линий. Защита ослабнет и станет такой же, как в полярных областях Земли.

Фантастический заряд

Приверженцы другой идеи предлагают зарядить космический корабль электричеством. Если напряжение внешней обшивки относительно окружающего пространства составит 2 ГВ, то корабль сможет отразить все протоны космических лучей с энергиями до 2 ГэВ. Авторы

этой идеи, похоже, забыли, что вокруг корабля нет вакуума. В районе Земли солнечный ветер заполняет пространство примерно пятью ионами и пятью электронами на 1 см^3 . Электроны, имеющие отрицательный заряд, будут притягиваться к положительно заряженному кораблю. Поскольку электрическое поле будет простираться до расстояния, где его потенциальная энергия становится ниже тепловой энергии электронов (до расстояния в десятки тысяч километров), космический корабль будет стягивать к себе электроны из этого огромного объема. Они станут врезаться в обшивку с энергией 2 ГэВ и вести себя так же, как космические лучи, поскольку будут обладать такой же энергией, как протоны. В этом случае естественный поток космических лучей был бы заменен значительно более интенсивным искусственным. Ударяя о космический корабль, электроны излучали бы гамма-лучи, и интенсивность такой бомбардировки была бы ошеломляющей.

Проектировщики не объяснили, как они собираются зарядить космический корабль до напряжения 2 ГВ. Ток в 1 А при напряжении в 2 ГВ требует мощности 2 ГВт, что сопоставимо с мощностью приличной электростанции. Даже приблизительные оценки показывают, что ток превысил бы 10 МА.

Согласно другим предложениям, мощные ракеты могли бы ускорить путешествие, сократив время облучения космонавтов. Но оптимальная длительность полета к Марсу составляет определенную часть орбитального периода планеты, и чтобы сократить ее, требуется намного больше топлива. Кроме того, на поверхности Марса атмосфера разрежена (10 г/см^2). Если база будет размещена глубоко, под сотнями тонн почвы, то можно было бы обеспечить защиту. Но для этого потребовалось бы использовать тяжелую технику.

Таким образом, все предложения по защите космонавтов от космических лучей не надежны. Естественные процессы восстановления человеческого организма на клеточном уровне могли бы помочь нейтрализовать дозу облучения, накопленную в течение длительного периода. Возможно, оценки заболеваемости раком, основанные на данных по кратковременным интенсивным вспышкам радиации, слишком завышены.

В 2003 г. NASA учредило Национальную лабораторию космической радиации при Брукхейвенской национальной лаборатории для изучения молекулярных механизмов повреждения клеток, надеясь создать лекарство для их лечения и восстановления. Лаборатория тщательно исследует разрушение ДНК радиацией и типы ран, не поддающихся лечению. Но химические препараты, повышающие сопротивляемость лабораторных крыс к радиационному облучению, сами по себе ядовиты. Радиационная опасность приглушает блеск идеи космических путешествий. И все равно люди будут стремиться к Луне и Марсу, мечтая о колонизации Вселенной. *

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- * Shielding Space Explorers from Cosmic Rays. Eugene Parker in Space Weather, Vol. 3, No. 8, Article no. S08004; August 18, 2005.
- * Публикации рабочей группы NASA 2004 г. по вопросам радиационной защиты: aoss.engin.umich.edu/Radiation
- * Сайт NASA по проблеме космической радиации: www.radiationshielding.nasa.gov
- * Хаякава С. Физика космических лучей. М.: Мир, 1973.
- * Паркер Ю. Космические магнитные поля. М.: Мир, 1982.
- * Основы космической биологии и медицины. Под ред. О.Г. Газенко и М. Кальвина. М.: Наука, 1975.

Дэвид Синклер и Ленни Гайренте

секрет

ГЕНОВ ДОЛГОЛЕТИЯ



Гены, помогающие организму пережить трудные времена, положительно влияют на состояние здоровья и продолжительность жизни. Разобравшись в том, как они работают, мы сможем подойти к решению проблемы сохранения активности в старости

Первое представление о техническом состоянии автомобиля можно составить, узнав год его выпуска и пробег. Нещадная эксплуатация и время накладывают неизгладимый отпечаток

на любой механизм. То же самое можно сказать и о пожилых людях, но с одной существенной оговоркой: «изношенность» человеческого организма частично компенсируется его способностью к «саморемонту» с использованием внутренних резервов.

Одно время ученые рассматривали процесс старения не просто как истощение жизненных сил организма, а как один из этапов его генетически запрограммированного развития: лишь только мы достигаем зрелости, включаются «гены старения», выводящие нас на финишную прямую. Позже такая концепция была отвергнута, и теперь считается, что старение — это все-таки простое изнашивание организма, истощение его внутренних ресурсов, ранее поддерживавших все части «на ходу». Естественному отбору нет резона ставить подпорки тому, чей репродуктивный возраст остался позади.

Однако недавно мы обнаружили, что семейство генов, отвечающих за способность организма противостоять стрессу (слишком высоким температурам, недостатку пищи или воды и т.д.), обеспечивает также действие защитных механизмов и систем регенерации, невзирая на возраст. Оптимизируя функционирование организма в целях выживания, эти гены повышают его шансы на преодоление кризиса. И если они остаются активными достаточно продолжительное время, то вносят весомый вклад в поддержание организма в рабочем состоянии и увеличение продолжительности жизни. По существу, это «гены долголетия» — антиподы «генов старения».

Мы впервые занялись обозначенной проблемой 15 лет назад, предположив, что естественный отбор вполне мог использовать некий универсальный механизм для координации ответа организма на стресс. Если бы нам удалось идентифи-



цировать такой ген или гены, являющиеся главными контролерами, а, следовательно, основными регуляторами продолжительности жизни, можно было бы превратить их в мощное оружие против болезней и ухудшения состояния здоровья.

Многие из недавно открытых генов с таинственными названиями наподобие *daf-2*, *pit-1*, *amp-1*, *clk-1* и *p66Shc* влияют не только на способность лабораторных животных справляться со стрессом, но и на продолжительность их жизни. Наблюдения наводят на мысль, что, возможно, они служат частью некоей фундаментальной системы, позволяющей организму противостоять любым «ударам судьбы» (табл. на стр. 31). Мы сфокусировали свое внимание на гене *SIR2*, разные варианты которого обнаружены во всех исследованных на сегодня организмах, от дрожжей до человека. Наличие большого количества копий такого гена сопровождается увеличением продолжительности жизни у столь разных живых существ, как дрожжи и дрозофила, и мы намереваемся выяснить, воздействуют ли они на более высокоорганизованных животных, например мышей.

Молчание — золото

SIR2 был открыт в ходе поисков ответа на вопрос, почему некоторые дрожжевые клетки живут дольше других, и может ли какой-то один ген контролировать процесс старения у простейшего организма. Мысль о том, что, разобравшись с

дрожжами-долгожителями, мы приблизимся к пониманию механизма старения человека, многим в то время представлялась абсурдной.

Возраст дрожжевой клетки измеряется числом ее делений, которое обычно не превышает 20. Затем клетка погибает. Один из нас (Ленни Гайренте) занялся скринингом дрожжевых колоний в поисках клеток, которые делятся большее число раз, для того чтобы идентифицировать гены, наделяющие организм таким замечательным свойством. В результате поисков была выявлена мутация в гене *SIR4*, который кодирует один из компонентов сложного белкового комплекса, содержащего фермент *Sir2*. Мутация в гене *SIR4* приводит к тому, что молекулы *Sir2* концентрируются вблизи той области дрожжевого генома, где содержится необычайно много повторяющихся нуклеотидных последовательностей. Эта область, отвечающая за синтез компонентов рибосом — «клеточных фабрик» по сборке белков, носит название рибосомной ДНК (рДНК). В дрожжевом геноме содержится более 100 рДНК-повторов, которые клетке трудно поддерживать в неизменном состоянии. Дело в том, что повторяющиеся последовательности часто рекомбинируют друг с другом, и этот процесс имеет губительные последствия для организма. Так, у человека он причастен к возникновению рака и болезни Гентингтона. Результаты наших исследований дрожжевых клеток наводят на мысль,

что старение материнских клеток сопряжено с нестабильностью рДНК.

Подобная нестабильность носит совершенно особый характер. Претерпев несколько делений, материнская дрожжевая клетка вычленяет из своего генома избыточные рДНК-копии в виде кольцевых элементов. Внехромосомные рДНК-кольца (*ERC*, от англ. *extrachromosomal rDNA circles*) реплицируются одновременно с хромосомой, но при клеточном делении остаются в ядре исходной клетки. Со временем их становится все больше, ресурсов клетки не хватает на репликацию геномной ДНК, и она погибает.

Однако если в клетку ввести дополнительные копии гена *SIR2*, то образование *ERC* подавляется, а продолжительность жизни дрожжевой клетки увеличивается на 30%. Еще более эффективным стало введение *SIR2*-копий в клетки другого организма — круглого червя, который прожил вполнине больше положенного срока. Поразило нас не столько сходство реакции разных организмов, сколько тот факт, что данный феномен наблюдался у взрослого червя, чьи клетки уже не делятся, и у которого репликативный механизм старения, свойственный дрожжам, не действует. Как же в таком случае работает ген *SIR2*?

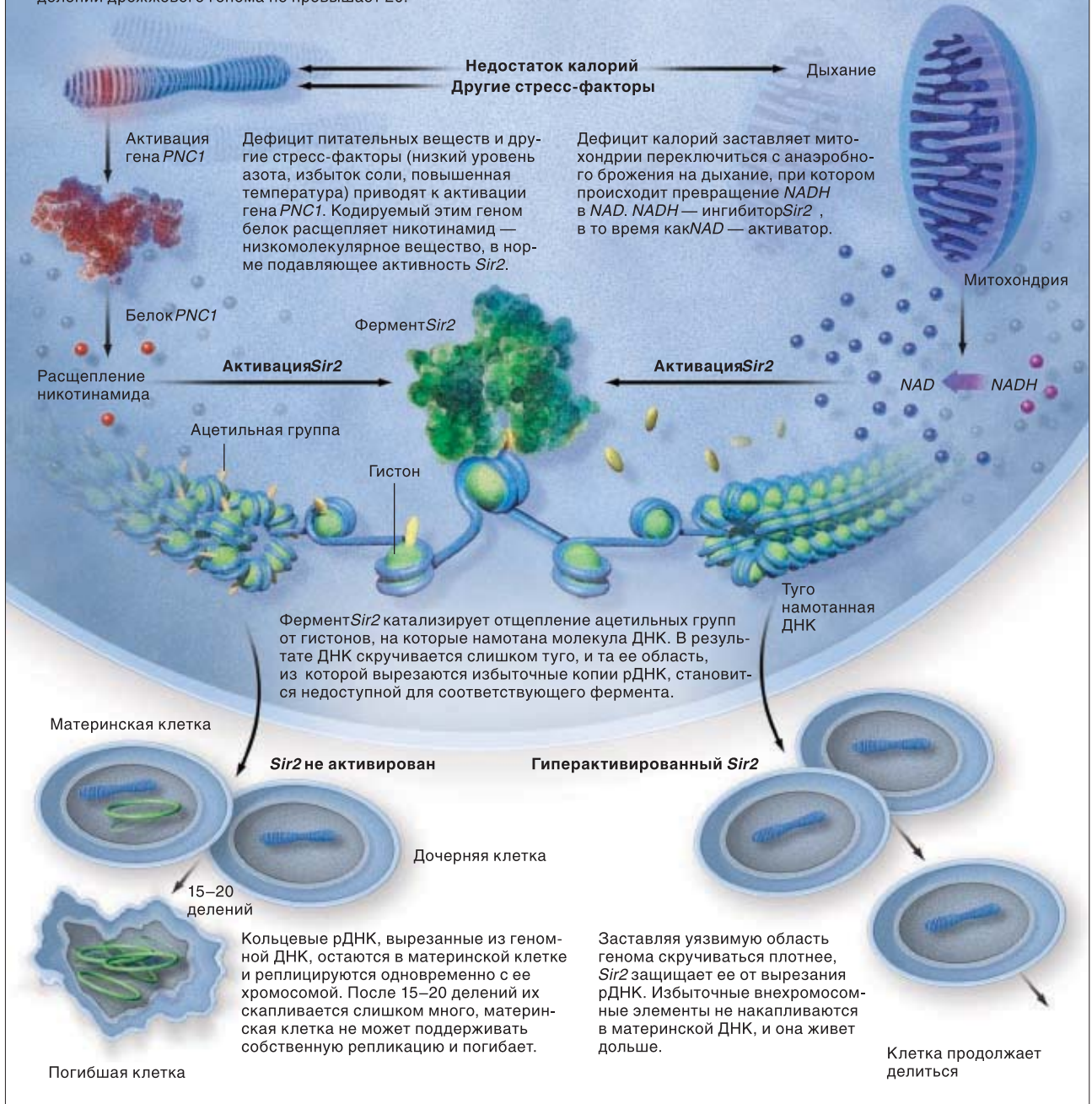
Мы обнаружили, что данный ген кодирует фермент, обладающий совершенно необычными свойствами. Известно, что молекула ДНК в клетке находится в компактной форме: она намотана на множество гистоновых «шпудлек». К гистонам присоединены химические метки, т.е. ацетильные группы, с помощью которых поддерживается нужная плотность упаковки. Если часть меток удалить, то ДНК наматывается на гистоновую сердцевину слишком туго, и ферменты, обеспечивающие вычленение из нее кольцевых рДНК, оказываются беспомощными. Участки ДНК в таком сверхплотном состоянии называются молчашими,

ОБЗОР: УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ

- * Гены, отвечающие за способность организма противостоять неблагоприятным воздействиям окружающей среды, влияют на самые разные органы и ткани, направляя все силы на борьбу за выживание.
- * Длительная реакция организма на стресс может способствовать увеличению продолжительности жизни и помогать справляться с различными болезнями.
- * Основным регулятором механизма выживания — гены семейства *Sirtuin*.
- * Разобравшись в том, как работают эти гены, мы сможем подойти к решению проблемы сохранения трудоспособности до глубокой старости.

ФЕРМЕНТ SIR2 И СТРЕСС

Умеренный стресс увеличивает продолжительность жизни дрожжевых клеток на 30%, повышая активность фермента *Sir2*. Стресс-факторы действуют двумя путями, но оба они приводят к одинаковому результату — подавлению ингибитора белка *Sir2*. Гиперактивированный *Sir2*, в свою очередь, устраняет одну из форм нестабильности генома, которая приводит к тому, что число делений дрожжевого генома не превышает 20.



потому что ни один из их генов не может быть активирован.

О том, что белки *Sir* участвуют в поддержании генов в молчащем состоянии, было известно и раньше. Само сокращение «*SIR*» происходит

от англ. *silent information regulator* (что можно перевести как «регулятор замалчивания информации»). *Sir2* — один из ферментов, отщепляющий от гистонов ацетильные группы, но, как мы показали, он

может работать только в присутствии никотинамидадениндинуклеотида (*NAD*), небольшой молекулы, участвующей во многих метаболических процессах в клетке. Сопряженность *Sir2* с *NAD* весьма ▶

ГЕНЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ

Ученые идентифицировали целый спектр генов, влияющих на продолжительность жизни различных организмов. Многие из них, как и *SIR2* и его «родственники» (гены семейства *Sirtuin*), обеспечивают продление жизни благодаря увеличению числа своих копий или гиперактивации кодируемых ими продуктов. Но существуют гены, оказывающие прямо противоположное действие, и чтобы увеличить продолжительность жизни организма, их нужно инактивировать. Так, у круглого червя имеется ген *daf-2*, кодирующий рецептор для инсулина и инсулиноподобного фактора роста 1 (*IGF-1*). Инактивация этого гена у взрослой особи приводит к увеличению продолжительности жизни на 100%. То же происходит и при подавлении активности других генов, связанных с ростом и развитием организмов или влияющих на активность соответствующих молекул. Некоторые из перечисленных в таблице генов или их белковых продуктов регулируют активность генов семейства *Sirtuin* в условиях дефицита калорий либо, напротив, регулируются этими генами.

Ген или продукт гена (аналог у человека)	Организм/изменение продолжительности жизни	Процесс-мишень	Возможные побочные эффекты
<i>SIR2 (SIRT 1)</i>	Дрожжи, черви, дрозофила/ +30%	Выживаемость клеток, метаболизм, реакция на стресс	Неизвестны
<i>TOR (TOR)</i>	Дрожжи, черви, дрозофила/ от -30 до -250%	Рост клеток, реакция на изменение характера питания	Повышенная чувствительность к инфекциям, рак
<i>Daf/FoxO</i> -белки (Рецептор инсулина и <i>IGF-1</i>)	Черви, дрозофила, мыши/ -100%	Рост и развитие, метаболизм глюкозы	Карликовость, стерильность, нарушение когнитивных функций, дегенерация тканей
<i>Clock</i> -гены (<i>CoO</i> -гены)	Черви/ -30%	Синтез кофермента <i>Q</i>	Неизвестны
<i>Amp-1 (AMPK)</i>	Черви/ +10%	Метаболизм, реакция на стресс	Неизвестны
Гормон роста (Гормон роста)	Мыши, крысы/ от -7 до -150%	Регуляция размеров тела	Карликовость
<i>P66Shc (P66Shc)</i>	Мыши/ -27%	Образование свободных радикалов	Неизвестны
Каталаза (<i>CAT</i>)	Мыши/ +15%	Обезвреживание перекиси водорода	Неизвестны
<i>Prop 1, pit1 (Pou1F1)</i>	Мыши/ -42%	Реактивность гипофиза	Карликовость, стерильность, гипотериоз
<i>Klotho (Klotho)</i>	Мыши/ от -18 до +31%	Регуляция выработки инсулина, <i>IGF-1</i> и витамина <i>D</i>	Резистентность к инсулину
<i>Methuselah (CD97)</i>	Дрозофила/ -35%	Устойчивость к стрессу, взаимодействие между нейронами	Неизвестны

примечательна, поскольку тем самым протягивается ниточка от *Sir2* к метаболизму, следовательно, к взаимосвязи характера питания и старения, наблюдаемой в условиях недостатка калорий.

Чем меньше калорий, тем лучше

Уменьшение количества калорий, потребляемых организмом, — самый известный способ продлить жизнь. Эта взаимосвязь была открыта более 70 лет назад и до сих пор не вызывает сомнений. Режим ограничения обычно заключается в уменьшении количества потре-

бляемой пищи на 30–40% по сравнению с тем, что считается нормой для данного вида. Все животные (от крыс и мышей до собак и приматов) на такой диете не только живут дольше, но и отличаются отменным здоровьем. Уменьшается частота многих заболеваний, включая рак, диабет и нейродегенеративные расстройства. Однако репродуктивные способности при этом ослабевают.

Долгое время считалось, что при малом количестве калорий метаболизм замедляется, и, следовательно, уменьшается количество образующихся при этом токсинов, побочных продуктов пищева-

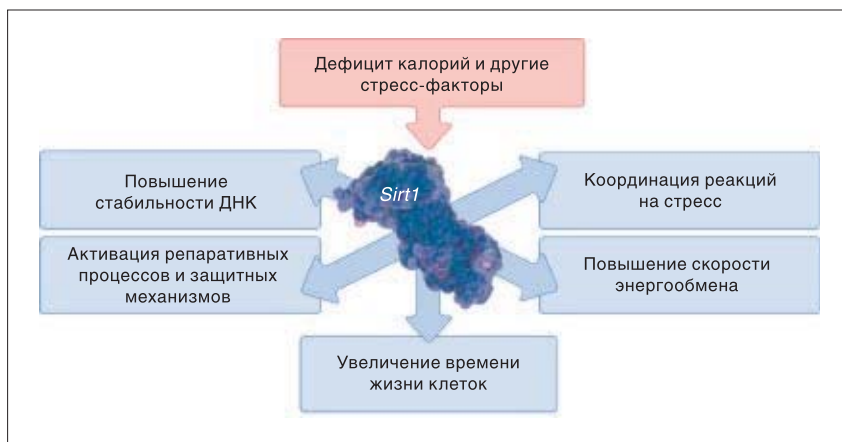
тельного процесса. Сегодня такая точка зрения признана ошибочной. Низкокалорийная диета вовсе не замедляет метаболизм ни у млекопитающих, ни у низших организмов, напротив, происходит ускорение и изменение процесса обмена веществ. Мы полагаем, что дефицит калорий служит таким же биологическим фактором стресса, что и недостаток пищи, который включает защитные системы организма, мобилизуя их на борьбу за выживание. У млекопитающих при этом меняется эффективность работы клеточных систем репарации и производства энергии, отсрочивается

апоптоз (запрограммированная гибель клеток). Намереваясь узнать, какова роль *Sir2* в указанных изменениях, мы вначале попытались выяснить, как участвует этот белок в реакции на недостаток калорий у простейших организмов.

Обнаружилось, что у дрожжей дефицит питательных веществ запускает два механизма, повышающих ферментативную активность *Sir2*. Во-первых, включается ген под названием *PNC1*, который кодирует фермент, расщепляющий никотинамид — низкомолекулярное вещество, в норме подавляющее активность *Sir2*. Во-вторых, активируется механизм получения энергии, при котором в качестве побочного продукта образуется *NAD* и одновременно уменьшается уровень его антагониста *NADH*. Последнее очень важно, поскольку, как выяснилось, происходит не только активация *Sir2* под действием *NAD*, но и его инактивация под действием *NADH*. Следовательно, при изменении соотношения *NAD* / *NADH* в клетке существенно трансформируется и активность *Sir2*.

С учетом всего, что мы знаем о связи между действием стресс-факторов на организм и активностью *Sir2*, можно задать естественный вопрос: служит ли наличие данного белка необходимым условием увеличения продолжительности жизни? Чтобы разобраться в этом, из организма дрозофилы был удален кодирующий его ген. Изучение последствий позволило ответить на вопрос положительно. А поскольку многие ткани насекомого имеют свои аналоги у млекопитающих, можно предположить, что и для них ответ будет таким же.

Однако речь не идет о том, что для реализации всего потенциала *Sir2* нужно садиться на жесточайшую диету. Активность рассматриваемого белка и его «родственников» (их общее название — *Sirtuin*) можно изменять с помощью модуляторов. Особенно интересен один из



Фермент *Sirt1* ответствен за состояние здоровья и увеличение продолжительности жизни в условиях дефицита калорий у млекопитающих. Недостаток пищи и другие биологические стресс-факторы повышают активность *Sirt1*, а тот, в свою очередь, влияет на внутриклеточные процессы. Стимулируя выработку различных сигнальных молекул, например, инсулина, *Sirt1* может регулировать ответ на стресс организма в целом. Действие этого фермента осуществляется через его влияние на другие белки.

Sirtuin-активаторов — низкомолекулярное вещество под названием резвератрол, который содержится, например, в красных винах. В экстремальных условиях он вырабатывается многими растениями. *Sirtuin*-модуляторной активностью обладают также 18 других веществ, синтезируемых растениями в ответ на стресс. Не исключено, что все они используются для регуляции активности белка *Sir2*.

Добавление резвератрола к низкокалорийной пище, его присутствие в культурной среде, где растут дрожжи, введение его в организм червей и дрозофил увеличивает продолжительность их жизни на 30%, правда, только в том случае, если у них присутствует ген *Sir2*. Более того, дрозофилы с гиперпродукцией *Sir2* живут так долго, что ни резвератрол, ни дефицит калорий никакого дополнительного эффекта не дают. Проще всего объяснить это тем, что последние влияют на продолжительность жизни через активацию белка *Sir2*.

Дрозофилы, получающие резвератрол, не только живут дольше, питаясь при этом вдоволь, но и сохраняют фертильность, которая часто утрачивается в условиях дефицита калорий. Если мы намереваемся

в будущем использовать вещества, влияющие на активность *Sir2*, в медицине, то сначала необходимо детально разобраться в том, какую роль играет этот белок в организме млекопитающих.

Главный дирижер

Аналог дрожжевого *SIR2*-гена у млекопитающих — ген *SIRT1*. Он кодирует белок *Sirt1*, обладающий такой же ферментативной активностью, что и *Sir2*, кроме того, он катализирует деацетилирование широкого круга белков в ядре клетки и в цитоплазме. Некоторые из этих белков вовлечены в такие важные клеточные процессы, как апоптоз и метаболизм. Таким образом, роль генов семейства *SIR* как потенциальных генов долголетия распространяется и на млекопитающих. Правда, у столь сложных организмов механизм их действия гораздо сложнее.

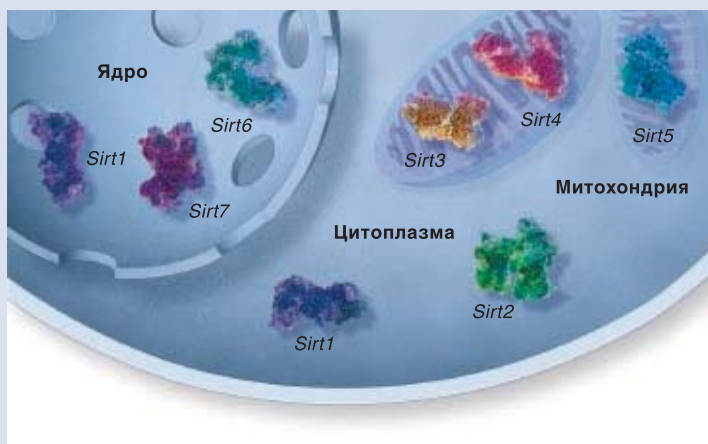
Исследователи обнаружили, что при повышении содержания белка *Sirt1* в организме мышей и крыс некоторые клетки выживают в таких условиях, при которых обычно запускается программа апоптоза. *Sirt1* действует при этом опосредованно через регуляцию активности белков *p53*, *FoxO* и *Ku70*, которые участвуют или в установлении ▶

БЕЛКИ СЕМЕЙСТВА SIRTUIN В КЛЕТКЕ

Фермент *Sirt1* — наиболее изученный белок семейства *Sirtuin*, но кроме него в клетках млекопитающих присутствуют и другие белки данного типа. Они локализируются в разных отделах клетки. Так, белок *Sirt1*, находящийся в ядре и цитоплазме, деацетилюет другие белки, изменяя их поведение. Многие из его мишеней — факторы транскрипции, активирующие гены, или белки, регулирующие работу этих факторов. Такая схема позволяет *Sirt1* осуществлять контроль широкого спектра важных внутриклеточных процессов. Исследование роли других белков семейства *Sirtuini* и их способности влиять на продолжительность жизни организмов только начинается. Так, установлено, что *Sirt2* модифицирует белок тубулин, из которого состоят микротрубочки, и может влиять на процесс деления клетки. *Sirt3* влияет на выработку энергии в митохондриях и, по-видимому, принимает участие в регуляции температуры тела. Функции *Sirt4* и *Sirt5* пока неизвестны. Мутации в гене белка *Sirt6* приводят к преждевременному старению.

НЕКОТОРЫЕ МИШЕНИ БЕЛКА SIRT1

Fox01, Fox03 и Fox04: факторы транскрипции генов, влияющих на работу защитных систем клетки и метаболизм глюкозы. **Гистоны H3, H4 и H1:** участвуют в упаковке ДНК в хромосомах. **Ku70:** фактор транскрипции, способствующий репарации ДНК и делению клетки. **MyoD:** фактор транскрипции, способствующий формированию мышц и ликвидации повреждений тканей. **NCOR:** регулирует работу многих генов, в том числе, влияющих на метаболизм жиров, воспалительные процессы и функционирование других регуляторных белков, таких как *PGC-1α*. **NF-κB** фактор транскрипции, участвующий в регуляции воспалительной реакции, выживаемости клеток и их роста. **P300:** регуляторный белок, участвующий в ацетилировании гистонов. **P53:** фактор транскрипции, запускающий апоптоз поврежденных клеток. **PGC-1α:** регулирует процесс дыхания клеток и, по-видимому, играет ключевую роль в развитии мышц.



некоего критического уровня для перехода к апоптозу, или же в активации систем клеточной репарации.

Утрата клеток в результате апоптоза может быть одним из важных факторов старения, особенно когда речь идет о таких нерегенерируемых тканях, как сердечная мышца или мозг. Возможно, белки семейства *Sirtuin* воздействуют на процесс старения организма, отсрочивая апоптоз. Показательным примером способности белка *Sirt1* повышать жизнестойкость клеток млекопитающих служит поведение мутантных мышей линии *Wallerian*. Особенность заключается в том, что в их организме происходит дупликация только одного гена, что значительно повышает способность их нейронов противостоять стрессу. Благодаря такой мутации, животные меньше подвержены токсическому действию химиотерапевтических препаратов, у них реже возникают инфаркт и нейродегенеративные расстройства в стрессовой обстановке.

В 2004 г. Джеффри Милбрандт (Jeffrey D. Milbrandt) из Университета Вашингтона в г. Сент-Луисе доказал, что упомянутая мутация приводит к повышению активности фермента, катализирующего образование *NAD*, а это, в свою очередь, активирует белок *Sirt1*. Кроме того, он обнаружил, что резвератрол и аналогичные препараты оказывают такое же защитное действие на нейроны обычных мышей, как и дупликация гена у грызунов линии *Wallerian*. Недавно Кристиан Нери (Christian Neri) из Национального института здоровья и медицинских исследований во Франции обнаружил, что резвератрол и еще один модулятор, фисетин, предотвращают гибель нервных клеток у двух организмов — червей и мышей, которые использовались в качестве модельных систем для изучения болезни Гентингтона. В обоих случаях эффект наблюдался только при наличии активного *Sirtuin*-гена.

Механизм действия белков семейства *Sirtuin* на уровне индивидуальных клеток более или менее понятен.

Но если кодирующие их гены имеют отношение к положительному эффекту, который дает дефицит калорий, то возникает вопрос: как именно влияет диета на их активность и, следовательно, на процесс старения? По данным Пере Пиксервера (Pere Puigserver) из Медицинской школы при Университете Джона Хопкинса, в условиях дефицита калорий в клетках печени повышается уровень *NAD*, что приводит к увеличению активности белка *Sirt1*. Среди белков, на которые действует *Sirt1*, — один из важных факторов регуляции транскрипции *PGC-1α*, оказывающий влияние на метаболизм глюкозы в клетке. Таким образом, *Sirt1* одновременно определяет наличие питательных веществ и регулирует соответствующую реакцию печени.

Подобные наблюдения позволяют предположить, что белок *Sirt1* — один из ключевых регуляторов метаболических процессов в печени, мышцах и клетках жировой ткани, поскольку он отслеживает любые изменения в характере питания,

реагируя на соотношение между *NAD* и *NADH*, и затем коренным образом изменяет профиль транскрипции генов в этих тканях. В рамках такой схемы становится понятно, каким образом *Sirt1* координирует работу генов и метаболических путей, влияющих на продолжительность жизни организма.

Однако действие *Sirt1* на уровне целого организма не обязательно должно опосредоваться каким-то одним механизмом. Например, можно предположить, что «внутренний датчик» млекопитающих оценивает доступность питательных веществ по количеству энергии, запасенной в виде жиров. Жировые клетки секретируют гормоны, которые посылают сигналы другим клеткам, причем характер сигналов зависит от количества запасенных жиров. Возможно, при уменьшении жировых запасов в условиях дефицита калорий подается сигнал «Голод!», и организм включает защитные системы. С подобной гипотезой согласуется тот факт, что генетически модифицированные мыши, остающиеся худыми независимо от количества потребляемой пищи, как правило, живут дольше обычных особей.

Мы предположили, что *Sirt1* регулирует количество запасенных жиров в ответ на изменение характера питания. Возможно, белок чувствует подобные изменения, диктует организму, какое количество жиров он должен иметь в запасе, и тем самым предопределяет уровень гормонов, секретируемых жировыми клетками, что задает темп старения организма. В таком случае становится очевидной связь между старением и таким патологическим заболеванием, обусловленным изменениями метаболизма, как диабет второго типа.

Белок *Sirt1* также влияет на воспаление, сопровождающее такие серьезные заболевания, как артриты и артрозы, астма, сердечно-сосудистые патологии, нейродегенеративные расстройства. По данным

Мартина Мэйо (Martin W. Mayo) из Вирджинского университета, *Sirt1* подавляет активность белкового комплекса *NF-κB*, который участвует в запуске воспалительной реакции. Аналогичным действием обладает и *Sirt1*-модулятор резвератрол. Исследования важны по двум причинам: во-первых, уже давно ведутся поиски веществ, подавляющих активность *NF-κB*, а во-вторых, хорошо известно, что дефицит калорий подавляет воспалительные процессы.

Если ген *SIR2* действительно влияет на систему регуляции процессов старения, активируемую при стрессе, то его можно сравнить с главным дирижером оркестра, в котором «играют» такие маститые «музыканты», как гормональная система, внутриклеточные белки-регуляторы и различные гены, связанные с механизмом увядания организма. Недавно было сделано еще одно замечательное открытие: оказалось, что *Sirt1* участвует в регуляции выработки инсулина и инсулиноподобного фактора роста 1 (*IGF-1*), а эти молекулы, в свою очередь, регулируют производство *Sirt1*. Подобная «обратная связь» объясняет, как деятельность *Sirt1* в одной ткани сказывается на клетках других тканей организма.

От обороны к активным действиям

История борьбы человека со старением насчитывает не одну тысячу лет, и очень трудно поверить, что решить проблему может какая-то горстка генов. А между тем старение у млекопитающих можно замедлить, просто ограничив поступление калорий, и к данному процессу причастны гены семейства *Sirtuin*. Конечно, причин старения может быть очень много, а о его механизмах известно далеко не все, но на примере самых разных организмов мы однозначно показали, что старение можно замедлить, манипулируя ограниченным числом регуляторов.

SIR2-гены имеют давнюю эволюционную историю, поскольку они присутствуют у самых разных ныне живущих организмов — дрожжей, паразитов *Leishmania* круглых червей, дрозофилы и человека. Из всех перечисленных видов, кроме последнего, для которого пока просто нет данных, эти гены отвечают за продолжительность жизни.

В наших лабораториях проводятся эксперименты, которые позволяют ответить на вопрос, контролируют ли гены этого семейства продолжительность жизни также и у млекопитающих. Вряд ли мы скоро узнаем, могут ли указанные гены продлить жизнь на десятилетия, так что те, кто хотел бы дожить до своего 130-летия, родились рановато. Но уже при жизни нынешних поколений будут найдены лекарственные вещества (модуляторы активности ферментов, кодируемых *Sirtuin*-генами), с помощью которых можно будет бороться с такими недугами, как болезнь Альцгеймера, диабет, нейродегенеративные расстройства и т.д. Некоторые модуляторы уже проходят клинические испытания.

Если говорить о долгосрочной перспективе, то мы надеемся, что проникновение в тайны функционирования генов долголетия поможет справиться со старческими болезнями. Нам пока трудно представить себе жизнь сообщества, в котором 90-летние люди вполне здоровы и жизнеспособны. Многим кажутся несерьезными разговоры об увеличении продолжительности жизни с помощью неких манипуляций с генами. Вспомним, однако, что в начале XX в. средняя продолжительность жизни составляла всего 45 лет, а сегодня в развитых странах она достигает 75 лет. Возможно, будущим поколениям, для которых 100 лет жизни будут далеко не пределом, наши попытки сохранить трудоспособность в старости тоже покажутся жалкими стараниями малосведущих людей, но и эти усилия приносят свои плоды. *

Майкл Кларк и Майкл Бекер

раковые стволовые клетки

Возможно, среди тысяч опухолевых клеток имеется одна раковая стволовая клетка, которая и отвечает за развитие заболевания



**Злокачественное
перерождение
стволовых клеток
лежит в основе
целого ряда
онкологических
заболеваний.
Задача
исследователей
и клиницистов —
найти и уничтожить
неуловимые
клетки-убийцы**

Со времени объявления широкомасштабного наступления на рак прошло уже 30 лет — вполне достаточный срок для подведения итогов. Тем более что медикам есть о чем рассказать. (*О положении дел в России см.: Тиванова К. Вакцина против рака // ВМН, №8, 2006*) За истекшие годы на 85% выросла выживаемость детей, пораженных некоторыми формами рака. Для борьбы с другими видами онкологических заболеваний найдены препараты, способные держать процесс под контролем и обеспечивать больному вполне приемлемые условия существования. Так, в 2001 г. был одобрен предназначенный для лечения хронического миелолейкоза (ХМЛ) препарат *Gleevec*, благодаря которому многим пациентам удалось перевести в стадию ремиссии. Однако ремиссия не означает полного выздоровления, поскольку в организме остается некий пул дремлющих раковых клеток.

Долгое время считалось, что любая оставшаяся в организме опухолевая клетка способна вновь запустить патологический процесс. Поэтому все усилия клиницистов были направлены на уничтожение максимально возможного их числа. Вероятность успеха такого подхода была мало предсказуема, а в случае солидных опухолей на поздних стадиях прогноз оставался неутешительным.

Выяснилось, однако, что для эффективной борьбы с хроническим миелолейкозом и некоторыми другими формами рака достаточно уничтожить только особые раковые клетки, составляющие небольшой процент от общего их числа. Именно они побуждают к неконтрольному делению новые клетки, а возможно, даже служат «зародышем» процесса малигнизации, отчего их и называют «стволовыми раковыми клетками». Возможно, когда-то они сами или их незрелые потомки были обычными стволовыми клетками, которые затем претерпели злокачественное перерождение.

Гипотеза о существовании немногочисленной популяции раковых

стволовых клеток, запускающих онкологический процесс, не нова. Всерьез данной проблемой начали заниматься в 50–60-х гг. прошлого столетия в связи с исследованием солидных опухолей и злокачественных заболеваний крови. Наблюдения за нарушениями развития тканей помогли биологам установить основные закономерности формирования и роста здоровых тканей.

Сегодня изучение стволовых клеток во многом помогает исследованию онкогенеза. За последние 50 лет удалось прояснить детали механизмов регуляции поведения нормальных стволовых клеток и их потомков. В результате выяснилось, что характерная для них иерархическая организация имеет место и в популяции раковых клеток любой опухоли. Это обстоятельство служит веским доводом в пользу теории, согласно которой многие новообразования берут начало от совершенно особых клеток, сходных со стволовыми. И для того, чтобы найти способы их уничтожения, необходимо выяснить, как «хорошие» стволовые клетки превращаются в «плохие».

Все под контролем

Тело человека формируется из множества органов и тканей, состоящих из клеток, продолжительность жизни которых невелика. Так, верхний слой кожи почти полностью обновляется каждый месяц, его клетки отшелушиваются и заменяются новыми. Клетки выстилки кишечника «живут» не более двух недель, а тромбоциты — клетки крови, участвующие в ее свертывании, — всего 10 суток.

Механизм, обеспечивающий постоянство популяций функционирующих клеток в разных тканях, действует в строгом соответствии с потребностями организма. Его питают небольшие пулы самоподдерживающихся стволовых клеток, которые служат «фабриками» по выпуску дифференцированных клеток, замещающих отмирающие. С переходом на каждую новую ступень специализация клеток все больше конкретизируется, и они постепенно ►

утрачивают способность к самообновлению.

Наиболее показательным примером такой системы служит образование форменных элементов крови и клеток иммунной системы. Родоначальниками всех функциональных клеток, обнаруженных в крови и лимфе, служат гемопоэтические стволовые клетки (ГСК), находящиеся в костном мозге. На их долю приходится менее 0,01% суммарного числа клеток костного мозга взрослого человека, и каждая из них дает начало более многочисленным популяциям частично специали-

численность пула стволовых клеток не меняется, а популяции специализированных гемопоэтических клеток быстро разрастаются в ответ на потребности организма.

Способность стволовых клеток к самоподдержанию через пролиферацию — самое важное свойство, позволяющее их идентифицировать. Только они имеют неограниченную продолжительность жизни и в то же время могут размножаться. В отличие от стволовых клеток, их прямые потомки (родоначальные клетки), хотя и в состоянии самообновляться, но имеют внутрен-

ремя восстанавливают механизм производства крови, но через 4–8 недель погибают. Трансплантация же единственной гемопоэтической стволовой клетки буквально возрождает систему кроветворения — она функционирует до конца жизни подопытного животного.

Система гемопоэза была детально изучена более 30 лет назад, а недавно аналогичные иерархические клеточные цепи были обнаружены в других тканях: головном мозге, молочной и предстательной железе, тонкой и толстой кишке, коже. Было установлено, что во всех случаях поведение стволовых клеток подчиняется одним и тем же правилам. В частности, имеются системы контроля численности их пула и механизмы принятия решения относительно судьбы индивидуальных клеток. Ключевую роль здесь играют несколько генов, в частности, *Bmi-1*, *Notch*, *Sonic hedgehog* и *Wnt*. Большинство из них было идентифицировано онкологами, а не специалистами по стволовым клеткам, поскольку названные гены причастны также к развитию различных онкологических заболеваний.

Согласно классическому определению, злокачественность подразумевает способность клеток к бесконечному делению, инвазии в соседние ткани и метастазированию (миграции на большие расстояния). Фактически все свойственные обычным клеткам ограничения, налагаемые на пролиферацию и сохранение идентичности, у раковых клеток отсутствуют. Характерная для нормальных стволовых клеток способность к самоподдержанию тоже дает им степень свободы, недоступную большинству других. Они могут давать начало тканям самого разного типа, а опухоль отличается гетерогенностью: создается впечатление, что она представляет собой целый орган, только совершенно неструктурированный. Доказано, что в ответ на сигнал о повреждении гемопоэтические стволовые клетки направляются в самые отдаленные части тела. Точно так же и раковые клетки могут распространяться

Способность стволовых клеток к самообновлению выделяет их из всех остальных клеток организма

зированных родоначальных клеток. Затем из них образуются дифференцированные зрелые клетки, выполняющие самые разные функции: от защиты организма от патогенов до доставки кислорода к органам и тканям. Сами стволовые клетки остаются при этом недифференцированными благодаря присутствию им уникальной способности к самоподдержанию: в самом начале стволовая клетка делится пополам, но дальнейшим превращением подвергается только одна из образовавшихся дочерних клеток, вторая остается неизменной. В результате

ний механизм учета клеточных делений, ограничивающий продолжительность их жизни. Чем более дифференцированными становятся потомки первичных клеток, тем меньше число делений они могут претерпевать.

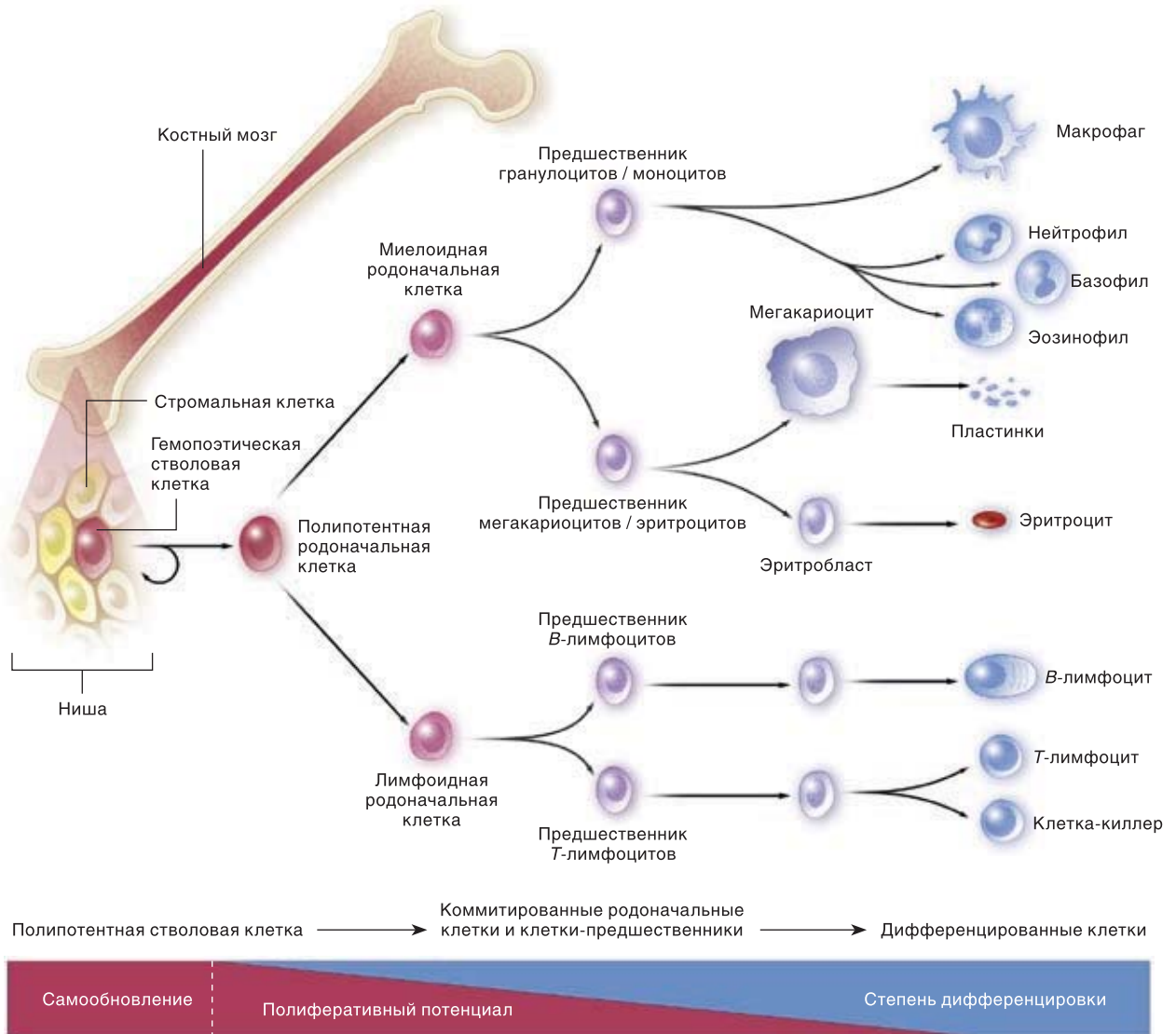
Практическая значимость данных особенностей отчетливее всего проявляется при пересадке гемопоэтических стволовых клеток и их потомков. После лучевого разрушения кроветворной системы у мышей родоначальные клетки устремляются в область костного мозга. Они быстро пролиферируют и на какое-то

ОБЗОР: РАКОВЫЕ СТВОЛОВЫЕ КЛЕТКИ

- * Принято считать, что все раковые клетки обладают одинаковым пролиферативным потенциалом и несут равную ответственность за развитие онкологического заболевания. Однако при многих видах рака такими свойствами оказывается наделенной лишь небольшая часть клеток опухоли.
- * Клетки, находящиеся у истоков ракового заболевания, и стволовые клетки имеют много общих черт: в частности, это неограниченная продолжительность жизни и способность давать начало клеткам других типов. Такие аналогии позволяют называть их раковыми стволовыми клетками.
- * Злокачественные родоначальные клетки, по-видимому, появляются в результате сбоя в регуляторной системе поврежденных стволовых клеток или их прямых потомков.
- * Раковые стволовые клетки — мишень номер один для противоопухолевых препаратов.

РОДОСЛОВНОЕ ДРЕВО КЛЕТОК КРОВИ

Хранилищем кроветворных (гемопоэтических) стволовых клеток (ГСК) организма служит костный мозг, где они находятся в своеобразной нише в окружении стромальных клеток, которые участвуют в передаче регуляторных сигналов. Когда в организме возникает дефицит клеток крови или иммунной системы, ГСК начинают делиться. Причем одна дочерняя клетка остается в нише, поддерживая численность популяции ГСК на прежнем уровне, а другая, недолговечная, превращается в полипотентную стволовую клетку (ПСК). Последняя, в свою очередь, делится, образуя родоначальные миелоидную и лимфоидную клетки. Потомки родоначальных клеток все более специализируются и постепенно утрачивают способность к пролиферации. В конце концов, они перестают делиться и превращаются в полностью дифференцированные клетки крови и иммунной системы, циркулирующие по всему организму. Неограниченным пролиферативным потенциалом обладают только гемопоэтические стволовые клетки



по всему организму. Но стволовые клетки делятся и дифференцируются под строгим контролем. Без такого регулирующего механизма их поведение будет мало чем отличаться от размножения раковых клеток.

Ахиллесова пята

Использование организмом стволовых клеток, присутствующих в некоторых тканях (в первую очередь, в быстро обновляемых, таких как кожа), кажется слишком сложным и неэффективным способом заме-

щения поврежденных или отслуживших свой срок «деталей». Не проще ли было бы инициировать пролиферацию клеток той же ткани, соседствующих с теми, что вышли из строя? На первый взгляд — да, но такой метод чреват возникновением рака. ▶

Считается, что клетка становится злокачественной, когда в ее ключевых генах накапливается такое число онкогенных изменений, что она утрачивает контроль над числом делений. Обычно мутации возникают в результате прямого действия различных внешних факторов (радиация, химические вещества и т.д.) или вследствие случайных ошибок при копировании генетического материала клетки, предшествующем ее делению. Численность популяций долгоживущих стволовых клеток в органах, где чаще всего возникает рак, очень мала. Поэтому,

Природа строго регулирует процессы самообновления, и ею предусмотрено, что если некая клеточная популяция уже обладает такой способностью, то для ее трансформации в злокачественную должно накопиться больше мутаций, чем в обычных клетках. Таким образом, можно построить несколько моделей возникновения рака. Согласно одной из них, мутации возникают в самих стволовых клетках, и в результате утраты контроля над самообновлением образуется некий пул стволовых клеток, предрасположенных к онкологической трансформации.

бластный криз. По данным Катрионы Джеймсон (Catriona Jamieson) и Ирвинга Вейсмана (Irving Weissman) из Медицинской школы Стэнфордского университета, у таких больных отмечаются дополнительные генетические изменения, в результате которых некоторые родоначальные клетки приобретают способность к самообновлению.

Шаг за шагом

Появившиеся за последние 10 лет свидетельства того, что стволовые клетки могут претерпевать злокачественную трансформацию и что только небольшая часть опухолевых клеток обладает свойствами, подобными свойствам стволовых клеток, убедили исследователей, что у истоков канцерогенеза находится субпопуляция раковых клеток, сходных со стволовым. Подобная гипотеза была выдвинута достаточно давно, однако проверить ее справедливость не позволяло отсутствие соответствующих методов.

Еще в начале 1960-х гг. стали появляться данные, что группы клеток одной и той же опухоли различаются по своей способности давать начало новым опухолям. В 1971 г. Си Эйч Парк (С.Н. Park) и его коллеги из Университета Торонто обратили внимание, что в культуре миеломных клеток (миелома — онкологическое заболевание, поражающее плазматические клетки костного мозга) наблюдаются значительные различия в способности к пролиферации. Дать однозначное объяснение такому явлению исследователи в то время не могли. Возможно, по случайности не все клетки в культуре могли размножаться одинаково, а может быть, раковые стволовые клетки, среди прочего, давали начало также и неонкогенным непролиферирующим клеткам.

В 1967 г. Филип Фиалкоу (Philip J. Fialkow) из Вашингтонского университета пришел к выводу, что у человека имеется класс стволовых клеток, которые, возможно, ответственны за возникновение хронического миелолейкоза. Он обнаружил, используя в качестве маркера фермент ▶

Раковые стволовые клетки — мишень номер один для противоопухолевых препаратов

с одной стороны, их будет ничтожно мало среди тех клеток, которые превратились в раковые в результате накопления патогенных превращений, но с другой, именно вследствие «бессмертности» у них больше шансов претерпеть за свою долгую жизнь злокачественную трансформацию.

Если все вышесказанное справедливо, то это объясняет, почему многие формы рака развиваются спустя десятки лет после радиационного облучения: давнее повреждение могло быть только первым шагом в череде событий, превращающих нормальную клетку в раковую.

Последующие воздействия, запускающие пролиферацию этих клеток с образованием опухоли, могут произойти на уровне как самих стволовых клеток, так и их потомков — коммитированных родоначальных клеток. Другая модель предполагает, что раковые мутации возникают в стволовых клетках, но все дальнейшие события, ведущие к злокачественной трансформации, совершаются только в коммитированных родоначальных клетках. В рамках данного сценария предполагается, что утраченная клетками-предшественниками способность к самообновлению каким-то образом восстанавливается.

Согласно последним данным, право на существование имеют обе модели: все зависит от типа рака. Более того, известен, по крайней мере, один случай, когда в развитии заболевания на разных стадиях действует сначала один, а потом другой механизм. Хронический миелолейкоз характеризуется резким усилением образования гранулоцитов, вызванным злокачественным перерождением полипотентной стволовой клетки в результате аномального слияния двух генов. В отсутствие лечения болезнь прогрессирует и переходит в острую форму —

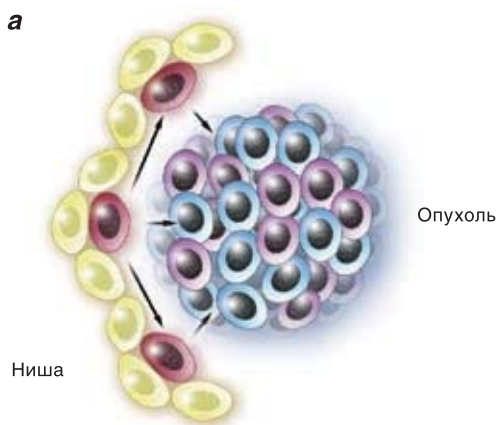
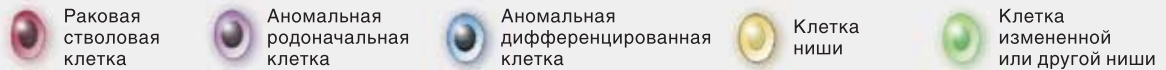
ОБ АВТОРАХ

Майкл Кларк (Michael F. Clarke) — член совета директоров, профессор биологии рака и медицины в Стэнфордском институте биологии стволовых клеток и регенеративной медицины. Занимается идентификацией раковых стволовых клеток и изучением механизмов их регенерации.

Майкл Бекер (Michael W. Becker) — доцент отделения гематологии и онкологии Медицинского центра Рочестерского университета. В круг его научных интересов входит изучение лейкозных стволовых клеток.

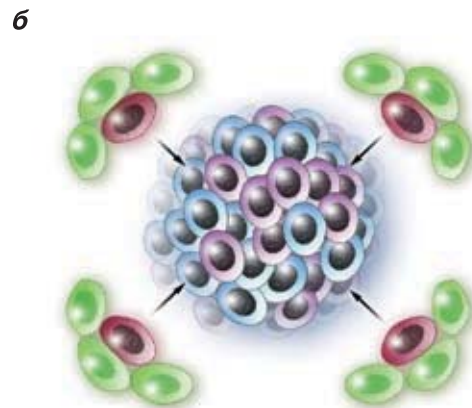
ДОРОГИ, ВЕДУЩИЕ К КАТАСТРОФЕ

Раковые стволовые клетки, дающие начало злокачественным новообразованиям, обнаружены у пациентов, страдающих различными формами онкологических заболеваний крови, и больных с некоторыми солидными опухолями. Как появляются такие клетки? Как и обычные стволовые клетки, их злокачественные варианты обладают способностью к самообновлению путем деления без дифференцировки и, следовательно, дают начало бесконечному числу аномальных дифференцированных клеток, из которых состоит опухоль. Потомки таких клеток, однако, имеют ограниченную продолжительность жизни и сами по себе не могут быть онкогенными, т.е. не способны генерировать новые раковые клетки. Поведение нормальных стволовых клеток строго контролируется встроенной в них генетической программой и теми сигналами, которые они получают от ближайшего окружения. Таким образом, решающую роль в окончательном превращении здоровых стволовых клеток в раковые может играть то, как они отвечают на внешние сигналы (а, б, в). Возможно также, что мутации, имеющиеся в стволовых клетках, наследуются их незрелыми потомками, клетками-родоначальницами. Под влиянием последующих метаморфоз они могут вновь приобрести способность к самообновлению, в норме свойственную только стволовым клеткам (г). При разных видах рака можно проследить все перечисленные варианты развития событий



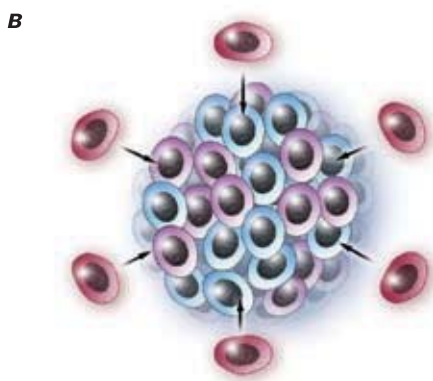
НИША БОЛЬШЕГО РАЗМЕРА

Раковые стволовые клетки с онкогенными мутациями находятся под строгим контролем, осуществляемым их окружением (нишей), до тех пор, пока не произойдут дальнейшие изменения в самих раковых стволовых клетках, или пока ниша не расширится. В последнем случае появляется возможность увеличения популяции раковых стволовых клеток и числа их аномальных потомков



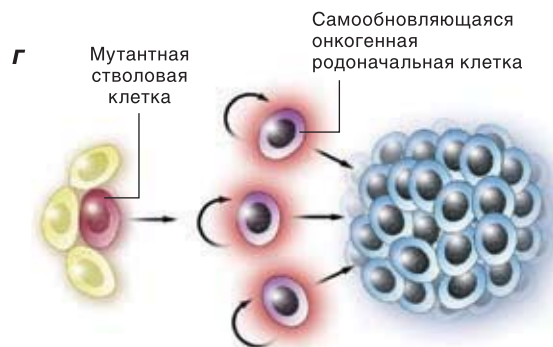
ДРУГАЯ НИША

Онкогенные мутации в раковых стволовых клетках порождают изменения, в результате которых эти клетки не могут адаптироваться к новой нише. В таком случае их численность может увеличиться, и они распространятся по всему организму



НЕЗАВИСИМОСТЬ ОТ НИШИ

В стволовых клетках, уже предрасположенных к злокачественному перерождению, могут возникнуть мутации, вследствие которых утрачивается контроль над ними



САМООБНОВЛЯЮЩИЕ МУТАЦИИ

Родоначальные клетки, предрасположенные к злокачественному перерождению из-за мутаций, которые они унаследовали от родительских стволовых клеток, претерпевают дальнейшие изменения. Их следствием может стать восстановление способности к самообновлению. Такие клетки-родоначальницы живут бесконечно долго, являются онкогенными и становятся раковыми стволовыми клетками

КОРЕНЬ ЗЛА

Используя методы сортировки опухолевых клеток и выявления их способности к самообновлению, биологи обнаружили стволовые раковые клетки, которые составляют малую часть всей популяции опухолевых клеток. Ниже перечислены те формы онкологических заболеваний, для которых однозначно выявлено наличие злокачественных стволовых клеток, способных к самообновлению и к регенерации всех типов клеток, составляющих исходную опухоль. Крайне небольшое число раковых стволовых клеток может давать начало опухолевому процессу, непрерывно пополняя популяцию клеток опухоли и регенерировать ее после удаления или разрушения большинства ее клеток. В таком случае полное излечение раковых больных, по-видимому, возможно только при уничтожении абсолютно всех стволовых раковых клеток.

Тип рака (год идентификации раковых стволовых клеток)

Острый миелолейкоз (1994)

Острый лимфобластный лейкоз (1997)

Хронический миелолейкоз (1999)

Рак молочной железы (2003)

Множественная миелома (2003)

Опухоли мозга (2004)

Рак предстательной железы (2005)

глюкозо-6-фосфатдегидрогеназу (Г-6-ФД), что у некоторых женщин, страдающих этим заболеванием, как злокачественные клетки, так и их дифференцированные потомки, не обладающие онкогенностью, происходят от одной родительской клетки.

Приведенные наблюдения сыграли важную роль в разработке модели «стволового» происхождения данной формы рака, но подтвердить ее или опровергнуть не было возможности, поскольку специалисты не могли изолировать и исследовать по отдельности разные клеточные популяции одной опухоли. Дело сдвинулось с мертвой точки в начале 1970-х гг., когда был изобретен метод проточной цитометрии, позволивший автоматически осуществлять сортировку клеток, основываясь на наличии на их поверхности уникальных маркеров.

Еще одним важным событием стала разработка в 1990-х гг. теста на способность клеточных популяций к самообновлению. Его применение к клеткам человека стало возможно только после того как Ирвинг Вейсман и Джон Дик (John E. Dick) из Университета Торонто разработали

метод, обеспечивающий рост нормальных стволовых клеток человека в теле мышей. Используя проточную цитометрию и упомянутую новую методику, Дик в 1994 г. приступил к идентификации раковых стволовых клеток при лейкозах. В 2003 г. Ричард Джонс (Richard Jones) из Университета Джонса Хопкинса идентифицировал популяцию раковых стволовых клеток у больных множественной миеломой.

В том же году группа исследователей из нашей лаборатории в Мичиганском университете в Анн-Арбор обнародовала первые данные о наличии раковых стволовых клеток в солидных опухолях. Мы трансплантировали мышам разные популяции клеток опухолей молочной железы человека и обнаружили, что не все они обладают одинаковой способностью вызывать образование опухоли у подопытных животных. Только одна субпопуляция клеток привела к воссозданию опухоли, идентичной исходной, в новом окружении. Далее мы сравнили фенотипы (физические свойства) новых опухолей с биоптатом, взятым у больной, и установили их идентичность. Таким образом, транс-

плантированные онкогенные клетки обладали способностью к самообновлению и давали начало всем клеточным популяциям, присутствующим в исходной опухоли, в том числе и неонкогенным.

Итак, согласно нашим исследованиям, в опухолях молочных желез существуют такие же иерархические отношения между клетками, как те, что были выявлены при злокачественных заболеваниях крови. Вскоре аналогичные данные были получены и для других форм рака. Например, в 2004 г. Питер Диркс (Peter Dirks) из Университета Торонто идентифицировал клетки первичных опухолей нервной системы человека, способных давать начало аналогичному заболеванию у мышей. Кроме того, он обнаружил необычайно большое число предположительно раковых стволовых клеток в одной из наиболее агрессивных опухолей костного мозга — медуллобластоме.

В пользу «стволовой» модели канцерогенеза говорят и результаты, полученные в смежной области исследований. По-видимому, решающее значение в возникновении и поддержании злокачественности имеет то окружение (ниша), в котором находится клетка. Исследование обычных и стволовых клеток четко указывает на роль сигналов, поступающих из близлежащих тканей и внеклеточного матрикса, в определении идентичности клетки и ее судьбы. Например, известно, что нормальные клетки организма, изъятые из привычной среды и помещенные в чашку Петри, частично утрачивают способность к дифференцировке. Однако если культивировать стволовые клетки в условиях, где отсутствуют факторы, сдерживающие их специализацию, то они очень быстро пролиферируют и дифференцируются. Создается впечатление, что именно так они внутренне запрограммированы, и только внешние сигналы, поступающие от окружающих тканей, держат их под контролем.

Ниши, в которых находятся стволовые клетки в организме, высланы

специализированными клетками, такими как стромальные (из них образуется соединительная ткань костного мозга). За редким исключением стволовые клетки не покидают своей ниши и иногда бывают физически связаны с ней при участии молекул адгезии. Родоначальные клетки, напротив, выходят из ниши. Имея в виду ту роль, которую играет окружение обычных стволовых клеток в поддержании их в недифференцированном состоянии и в активации в ответ на поступление сигнала о необходимости появления новых клеток, можно

Каков итог?

Теперь, когда мы знаем об истинном происхождении многих форм рака, стратегия борьбы со смертельным недугом представляется временно и очевидной, и пока что труднореализуемой. Современные методы лечения онкологических заболеваний имеют своей целью уничтожение всех опухолевых клеток. Но, как показывают исследования последних лет, за развитие патологического процесса отвечает лишь небольшая их часть. И если при удалении опухоли в организме останется данная особая клеточная по-

Если уничтожить «локомотив» патологического процесса, то остальные клетки опухоли погибнут сами собой

предположить, что такие же локальные внешние сигналы распоряжаются судьбой и раковых стволовых клеток. Подтверждением тому служат следующие эксперименты. Когда стволовые клетки, предрасположенные к злокачественному перерождению под влиянием онкогенных мутаций, помещают в новую нишу, они не инициируют образование опухоли. И напротив, если нормальные стволовые клетки трансплантировать в предварительно облученную ткань, опухоль будет развиваться.

Кроме того, установлено, что если злокачественные стволовые клетки удерживались в состоянии покоя с помощью окружения, образующего нишу, а затем эта ниша тем или иным образом изменялась или увеличивалась в размерах, численность злокачественных стволовых клеток начинала возрастать. Возможно, правда, что определенные онкогенные мутации в раковых стволовых клетках позволили им адаптироваться к новым условиям и занять весь доступный объем. Есть и еще одно предположение: под влиянием мутаций раковые стволовые клетки вообще перестают реагировать на внешние сигналы, контроль над ними полностью утрачивается.

пуляция, то возобновления злокачественного процесса не избежать. Напротив, если уничтожить именно ее, то остальные клетки опухоли погибнут сами собой.

Подобные случаи наблюдались в медицинской практике. Например, обследование опухоли яичка после химиотерапии показывает, что если в ней остаются только зрелые (полностью дифференцированные) клетки, то рецидивов, как правило, не возникает. Если же в образце опухоли обнаруживается много незрелых клеток, процесс, скорее всего, возобновится, поэтому по предписанной схеме врачи назначают повторный курс химиотерапии. Являются ли такие незрелые клетки недавно возникшими потомками, что указывает на присутствие в опухоли раковых стволовых клеток, — нужно еще выяснить, но корреляция между их наличием и прогнозом очевидна.

К сожалению, стволовые клетки нельзя идентифицировать исключительно по внешнему виду, поэтому для детального изучения их уникальных свойств прежде всего необходимо научиться обнаруживать и выделять их. В 2002 г. Крэг Джордан (Craig T. Jordan) и Моника Гузман (Monica L. Guzman) из Рочестерского университета определили

молекулярные свойства стволовых клеток, по-видимому, ответственных за развитие острого миелолейкоза (ОМЛ), и доказали, что на них можно воздействовать. В прошлом году они сообщили о выделении из растения гваюлы вещества, которое побуждает ОМЛ-стволовые клетки к «самоубийству», но не оказывает никакого влияния на нормальные стволовые клетки.

Одни исследователи возлагают надежды на клетки иммунной системы, которые распознавали бы и уничтожали раковые стволовые клетки. Другие полагают, что с помощью уже имеющихся средств можно так изменить их окружение, что они лишатся условий, обеспечивающих их процветание. Третьи надеются на создание препаратов, которые заставят аномальные стволовые клетки интенсивно дифференцироваться и лишат их способности к самообновлению. Важнее всего то, что все перечисленные пути ведут к одной цели. Блокировав процессы, обеспечивающие поддержание раковых стволовых клеток, и прервав диалог между ними и их окружением, мы, возможно, сумеем обезоружить истинного виновника многих форм рака. *

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- * The Reversal of Tumor Growth. Armin C. Braun in Scientific American, Vol. 213, No. 5, pages 75–83; November 1965.
- * The Proteus Effect: Stem Cells and Their Promise for Medicine. Ann B. Parson. Joseph Henry Press, 2004.
- * Context, Tissue Plasticity, and Cancer: Are Tumor Stem Cells Also Regulated by the Microenvironment? Mina J. Bissell and Mark A. LaBarge in Cancer Cell, Vol. 7, pages 17–23; January 2005.
- * Leukaemia Stem Cells and the Evolution of Cancer-Stem-Cell Research. Brian J. P. Huntly and D. Gary Gilliland in Nature Reviews Cancer, Vol. 5, No. 4, pages 311–321; April 2005.
- * Stem Cells and Cancer: Two Faces of Eve. Michael F. Clarke and Margaret Fuller in Cell, Vol. 124, pages 1111–1115; March 24, 2006.



Карел ван Шаик

КТО НА СВЕТЕ **ВСЕХ** умнее?

Что способствовало возникновению уникальных интеллектуальных способностей у человека, точнее, у наших предков-гоминидов?

Чтобы ответить на данный вопрос, можно, например, изучить условия, повлиявшие на эволюцию различных высокоинтеллектуальных животных, а затем проверить, воздействовали ли они также и на развитие наших пращуров. Как известно, некоторые млекопитающие и птицы (например, слоны, дельфины, попугаи и вороны) справляются со сложными заданиями гораздо успешнее, чем другие животные. Но лучше всего помогут раскрыть загадку интеллекта наши ближайшие родичи — человекообразные обезьяны.

Эволюцию умственных способностей у приматов (т.е. группы живых существ, к которой относятся человекообразные и другие обезьяны, лемуры, лори, а также человек) специалисты объясняли по-разному. Исследования поведения орангутанов, которые вот уже более 13 лет проводит возглавляемая мною группа приматологов, заставили нас по-новому взглянуть на процесс развития мыслительных способностей, а заодно и попытаться дать исчерпывающий ответ на вопрос, почему одни животные умнее других.

Малобудительные теории

Согласно одной из наиболее авторитетных теорий, развитие выдающихся умственных данных у приматов произошло вследствие сложной организации их социальной жизни. По мнению сторонников гипотезы, достойное место в сообществе достигается за счет способности особи поддерживать наиболее выгодные для себя взаимоотношения с другими членами группы, а также умения быстро оценить социальную ситуацию (например, принять решение, стоит ли оказывать помощь союзнику, подвергнутому нападению другого животного). Таким образом, наличие социальной организации способствует развитию интеллекта, поскольку наиболее смысленным особям удается наилучшим образом застраховать свою жизнь

от превратностей судьбы, а, значит, они имеют и самые высокие шансы передать свои гены потомству. Однако подобный макиавеллизм выгоден далеко не всем видам приматов, а потому теория представляется не слишком убедительной.

Зарождению интеллекта у приматов могли способствовать и другие обстоятельства, например, трудоемкость поиска пищи. В таком случае преимущество могли получить животные, способные изобретать эффективные способы добытия труднодоступного корма или запоминать, где находятся богатые источники пищи в то или иное время года.

На наш взгляд, главная роль в эволюции интеллекта принадлежит социальному обучению. Ум человека развивается на протяжении всей жизни. На первых порах ребенок учится под руководством терпеливых взрослых. Без сильной социальной поддержки даже потенциальный вундеркинд обречен стать посредственностью. Исследователи утверждают, что социальное обучение имеет место и в сообществах человекообразных обезьян. Я пытаюсь доказать, что животные, которых мы называем «умными», способны перенимать друг у друга новаторские способы решения различных проблем. Иными словами, я считаю, что культура способствует развитию интеллекта.

Я пришел к такому выводу в топках болота западного побережья индонезийского острова Суматра, где мы с коллегами наблюдали за орангутанами, единственными азиатскими представителями крупных человекообразных, чей ареал обитания ограничен островами Борнео и Суматра. В отличие от своих африканских родственников, шимпанзе, орангутаны обладают более спокойным нравом и менее общительны. Но качества, необходимые для формирования культурного сообщества, мы обнаружили и у этих замкнутых существ. ▶

Болотные технологии

Болота привлекли нас потому, что здесь водится особенно много орангутанов. В отличие от засушливых лесов, сырые топи круглый год изобилуют кормом и, таким образом, обеспечивают существование крупной популяции этих человекообразных. Мы работали на болоте Клуит неподалеку от местечка Суак-Балимбинг. Орангутаны чувствуют себя здесь как в раю, однако для нас, исследователей, топкая грязь, бесчисленное множество насекомых, ужасающая жара и влажность превратились в сущий ад.

Одно из первых же открытий, сделанных нами, повергло нас в шок. Оказалось, что болотные орангутаны умеют изготавливать разнообраз-

ные орудия и пользоваться ими. Несмотря на то, что в неволе эти человекообразные охотно манипулируют различными предметами, никакими сведениями о подобной деятельности в дикой природе зоологи до сих пор не располагали. Орангутаны области Суак использовали свои инструменты, чтобы выуживать ими муравьев и термитов из их жилищ и извлекать мед из гнезд пчел (главным образом,

лишенных жала). Мы не раз наблюдали, как животные внимательно осматривают стволы деревьев в поисках небольших отверстий, служащих для вентиляции ульев. Обнаружив такую дыру, орангутан пристально разглядывал ее, а затем пытался просунуть в нее палец, который чаще всего оказывался недостаточно длинным. Тогда животное выбирало подходящий тонкий прутик, проталкивало его в отверстие и начинало осторожно водить им взад-вперед. Затем обезьяна извлекала палочку, слизывала с нее мед и снова опускала в гнездо. Свои орудия животные, как правило, зажимали в зубах, в руки они брали только большие палки, предназначенные для раскалывания твердых стен термитника.

Кроме того, орангутаны использовали инструменты, чтобы извлечь семена из плодов дерева, называемого неезия (*Neesia*). Дерево защищает свои семена, заключив их в необычайно прочную скорлупу. Однако когда плод созревает, оболочка начинает растрескиваться, трещины мало-помалу расширяются, обнажая аккуратные ряды бурых семян размером с фасолину, снабженных красивыми отростками красного цвета, в которых содержится 80% масла. Но даже из лопнувшей скорлупы не так-то просто извлечь лакомство, т.к. его защищают очень острые иголки. Однако орангутаны болота Клуит оказались весьма находчивыми: они отламывали с дерева короткие прямые прутья, зажимали их в зубах и вставляли в трещины скорлупы. Вода прутиком вверх-вниз, животные отрывали семена от стебельков, которыми они прикрепляются к внутренней поверхности скорлупы, а потом просто вытряхивали содержимое плода себе в рот.



ИНДИЙСКИЙ ОКЕАН

Населенное орангутанами болото Клуит утопает в пышной растительности. Автор статьи обнаружил, что в такой богатой биологической системе обезьяны, которые обычно ведут одиночный образ жизни, отличаются поразительной общительностью



ОБЗОР: РАЗВИТИЕ ИНТЕЛЛЕКТА

- Орангутаны, населяющие одно из болот на о. Суматра, используют орудия для добычи пищи.
- Такое неожиданное открытие подсказало ответ на давно волновавший исследователей вопрос: почему некоторые животные отличаются высоким уровнем интеллекта?
- Ключевую роль в развитии интеллекта играет культура. Приматологи определяют ее как способность животных обучаться навыкам, изобретенным другими особями, посредством наблюдения за их действиями. Культура делает представителей фауны более изобретательными и способствует повышению интеллектуального потенциала вида в целом.

Использование орудий труда и культура

Чем можно объяснить столь горячее пристрастие орангутанов болота Клуит к использованию орудий —



Большинство орангутанов никогда не изготавливает орудия и не пользуется ими. Однако популяция, обитающая на болоте Клуит, составляет исключение: здешние обезьяны используют различные инструменты. Самое простое орудие — палка, с помощью которой животные добывают муравьев, термитов и пчелиный мед. Попытки извлечь мед из гнезда пчел руками (слева), как правило, заканчиваются неудачей. Тогда орангутаны просовывают прут в дупло и, зажав его в зубах, осторожно водят взад-вперед (белая стрелка). Вытащив палку из отверстия, они слизывают с нее мед (справа)

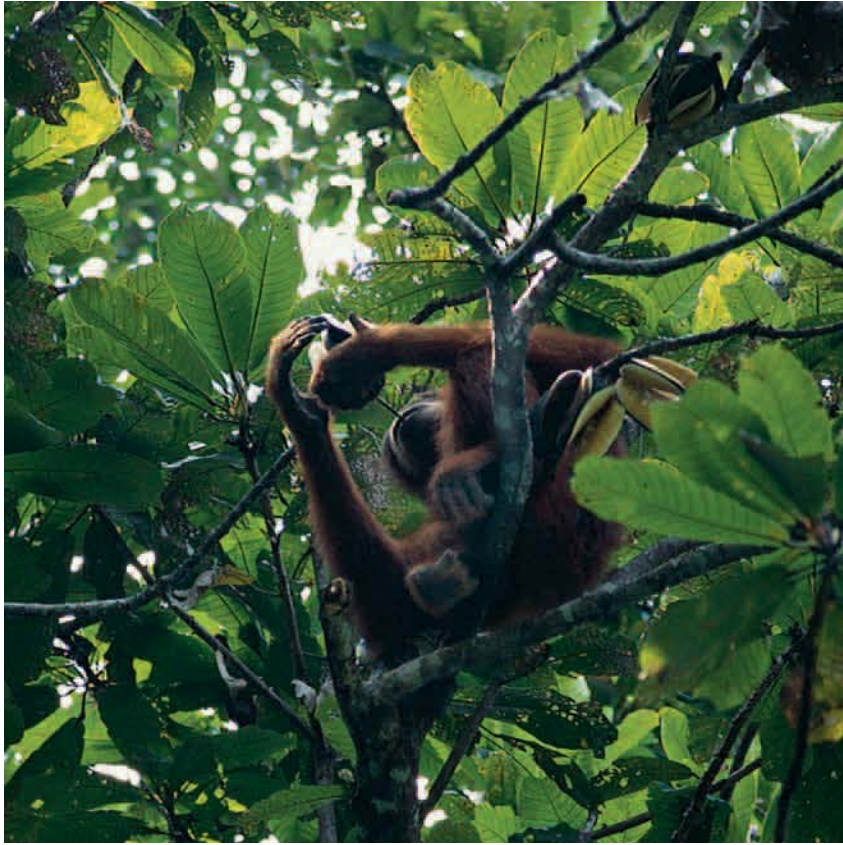
качество, которого почти начисто лишены их сородичи, обитающие в других местах? Мы предположили, что все дело в особенностях среды обитания животных. Большая часть орангутанов, которых ранее изучали исследователи, живет в засушливых лесах. Между тем природная среда болот гораздо богаче и разнообразнее. Но как ни заманчиво звучит наша «экологическая гипотеза», она не объясняет, почему орангутаны, живущие за пределами болота Клуит, полностью пренебрегают этими богатыми источниками корма, а также не используют никаких приспособлений, чтобы добывать семена из скорлупы или выуживать насекомых из гнезд.

Учитывая, что плотность популяции орангутанов области Суак очень высока, что приводит к серьезной конкуренции за источники корма (как тут не вспомнить мудрую поговорку: «Голь на выдумки хитра»), мы предположили, что животные научились добывать труднодоступную пищу в борьбе за выживание. Однако сладкие и питательные лакомства, доступ к которым и об-

легчают всевозможные приспособления, занимают верхние строки в списках гастрономических предпочтений всех орангутанов, а значит, должны быть вожаделенной добычей этих обезьян повсеместно. Ведь хорошо известно, например, что, где бы ни жили орангутаны, они готовы терпеть болезненные укусы пчел, лишь бы добраться до их гнезда и полакомиться медом. Таким образом, эта гипотеза выглядит тоже малоубедительно.

Наконец, вполне возможно, что новаторские методы добычи пищи болотных орангутанов были придуманы парой-другой сообразительных животных, а затем распространились и укоренились в популяции благодаря тому, что их освоили и другие особи, наблюдавшие за успехами «изобретателей». Иными словами, использование орудий стало порождением культуры. Главная трудность при изучении данного явления в сообществах диких животных заключается в том, что невозможно определить, действительно ли наблюдаемая особь изобретает некий новый подход, или она демон-

стрирует хорошо освоенную прежде, но редко практикуемую манеру поведения. В лабораторных условиях орангутаны способны к социальному обучению, но не известно, присуще ли им такое поведение в естественных условиях. А потому, чтобы понять, стал ли тот или иной образ действия порождением культуры, исследователям приходится использовать сложную систему критериев. Во-первых, изучаемый навык должен варьировать географически, а там, где он имеется, — представлять собой одну из обычных форм поведения животных (первое обстоятельство указывает на то, что навык был изобретен в каком-то определенном месте, а второе — что он распространился и закрепился в популяции). Поведение орангутанов популяции Суак в полной мере удовлетворяет обоим критериям. Во-вторых, необходимо исключить более простые объяснения происхождения навыка, напрашивающиеся исходя из характера его географического распространения, но не учитывающие роли социального обучения. Именно из этих ▶



Питательные семена неезии (внизу слева) окружены острыми иголками, защищающими их от зубов голодных зверей. Чтобы не пораниться, орангутаны Суак счищают кору с прямой короткой веточки, зажимают ее в зубах и засовывают в трещину созревающего плода (справа). Водя инструментом вверх-вниз, животное отрывает семена от внутренней поверхности скорлупы. На снимке в центре показан небольшой плод неезии, из которого торчит орудие труда орангутана

соображений мы сбросили со счетов нашу «экологическую гипотезу». И, наконец, третий и самый строгий критерий: следует отыскать такое географическое распределение данной формы поведения, которое можно объяснить только влиянием культуры. Один из вариантов подобного географического распре-

деления — присутствие характерных поведенческих особенностей в одной местности и их отсутствие в других областях, отделенных от первой неким естественным барьером. В случае с орангутанами из Суак прояснить картину помогает наличие неезии. Это дерево (как и орангутаны) встречается на

обоих берегах широкой реки Алас. Но если болото Синкил, раскинувшееся к югу от болота Клуит на том же берегу Алас, буквально устелено «орудиями труда» орангутанов, то на болоте Бату-Бату, расположенном на противоположном берегу реки, они начисто отсутствуют. Зато мы не раз находили там разбитые плоды неезии — свидетельство того, что местные орангутаны просто раскалывают их, точно так же, как их сородичи с острова Борнео, в отличие от обезьян с болота Синкил, которые вычищают палочкой лакомые семена.

Толерантное сообщество

Почему же орудиями научились пользоваться только орангутаны области Суак? Чтобы ответить на вопрос, мы провели детальное сравнение всех изученных популяций этих животных и обнаружили, что обитатели Суак не только взяли на вооружение различные орудия, но и овладели большим количеством новаторских поведенческих навыков. Мы установили, что сообщества, в которых животные наблюдали за действиями своих соплеменников, обладали более разнообразным репертуаром приобретенных умений и новаторских идей, чем те, где возможностей обучаться было меньше. Такая же связь была выявлена и для популяций шимпанзе. Неудивительно, что подобная зависимость отчетливее прослеживалась при добыче пищи, т.к. для того, чтобы перенять новый метод добычи лакомства, нужно наблюдать за действиями сородича с более близкого расстояния, чем, скажем, при заимствовании коммуникационного сигнала.

Проанализировав различия в поведении орангутанов разных популяций, мы обнаружили еще одну любопытную деталь. Если во всех сообществах в тесном длительном контакте находятся лишь детеныши со своими матерями, то в «племени

Суак» взрослые особи не брезгают общением друг с другом даже во время кормежки. В отличие от орангутанов всех других известных популяций, они регулярно делятся друг с другом пищей (например, мясом пойманного лори). Такое необычное для этих обезьян поведение дает возможность их менее опытным сородичам приближаться к взрослым изобретательным соплеменникам во время добывания пищи и неоднократно наблюдать за их действиями, а затем самостоятельно отрабатывать их. Новаторский прием сможет закрепиться в популяции только в том случае, если в ней «образцы для подражания» достаточно терпимы к себе подобным. Итак, чем крепче социальные связи между животными, тем выше вероятность того, что новый поведенческий принцип закрепится в группе — поэтому в толерантных сообществах обнаруживается наибольшее количество «продвинутых» форм поведения.

Орангутаны живут на обоих берегах широкой реки Алас, где повсеместно растет неезия (фото). Но если местность болота Синкил (карта) буквально усеяна «орудиями труда» животных, то обезьяны, населяющие болото Бату-Бату на другом берегу реки, не умеют извлекать семена неезии с помощью палок. Изобретательные приматы не могут научить соседей пользоваться инструментами, поскольку им не перебраться на другой берег полноводной реки

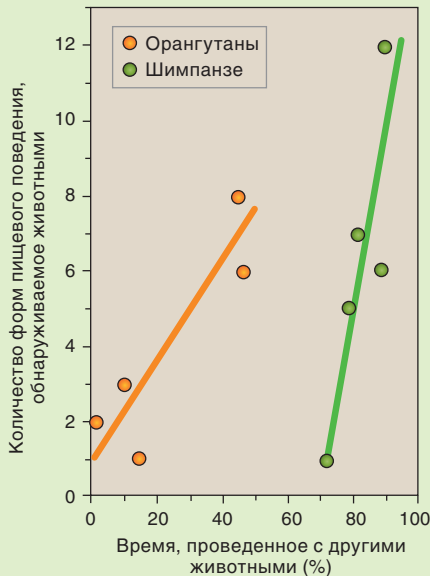
Культурные корни интеллекта

Наши наблюдения за орангутанами позволяют предположить, что культура, т.е. социальное овладение особыми поведенческими приемами, способствует не только развитию интеллекта у отдельных животных, но и ведет к повышению общего интеллектуального уровня популяции. Механизмы обучения, помогающие животным перенимать навыки у соплеменников, у разных видов неодинаковы. Поведение человекообразных обезьян как в природе, так и в неволе весьма любопытно: приматы с легкостью обучаются простым операциям, следя за действиями сородичей. Способность к решению сложных когнитивных задач дикие орангутаны, шимпанзе и гориллы нередко приобретают в результате наблюдения за поведением себе подобных и индивидуальной практики (т.е. почти так же, как учатся дети). Орангутаны популяции Суак овладели хитрым

приемом добывания корма потому, что имеют больше близких контактов и возможностей перенимать опыт, чем их менее общительные сородичи из других популяций. Иными словами, социальное обучение может поднять интеллектуальные способности животного на более высокий уровень.

Чтобы оценить роль социальной составляющей в эволюции интеллекта, проведем воображаемый эксперимент. Представим себе животное, полностью обеспеченное пищей и безопасным кровом, но вынужденное развиваться в условиях абсолютной социальной изоляции. Подобная ситуация может сложиться при отсутствии контакта между поколениями животных, или когда покинувшие родительское гнездо детеныши вынуждены в одиночку противостоять враждебному окружающему миру. Предположим, что некая самка неожиданно изобретает новый эффективный способ раскалывания скорлупы орехов, ▶





В популяциях, где животные имеют возможность наблюдать за действиями своих сородичей, обнаруживается большее разнообразие пищевых навыков, чем в среде «индивидуалистов». Такая зависимость характерна как для сообществ орангутанов, так и шимпанзе

что позволит ей никогда не голодать и, возможно, даже оставить многочисленное потомство. Однако если она не передаст свое новое умение детенышам, после ее гибели они могут не выжить. Но если малыши, прежде чем начать самостоятельную жизнь, некоторое время держатся рядом с матерью и на ее примере учатся противостоять окружающему миру, они перенимают полезные навыки, которые смогут передать своим потомкам.

Итак, у животных, детеныши которых подолгу остаются с одним из родителей, обучение происходит

ОБ АВТОРЕ

Карел ван Шаик (Carel van Schaik) — директор Антропологического института и музея Цюрихского университета в Швейцарии. В 1985 г. получил докторскую степень в Утрехтском университете. Затем переехал в США, занимал должность профессора антропологии в Университете Дьюка, а в 2004 г. возвратился в Европу.

медленно. Если же особи образуют социально толерантную группу, каждый член которой тесно связан как с настоящим, так и с прошлыми поколениями животных, то подрастающие малыши, наблюдая за разнообразной деятельностью своих сородичей, не только обучаются, но и становятся более изобретательными. Таким образом, наличие определенной культуры стимулирует виды, обладающие некоторой фантазией, к дальнейшему совершенствованию интеллекта. Все вышесказанное заставляет нас по-новому взглянуть на процесс когнитивной эволюции.

Сформулированная нами гипотеза позволяет лучше понять некоторые загадочные особенности поведения животных. Например, детеныши человекообразных обезьян, воспитанные людьми, могут овладеть необычайно широким диапазоном навыков, что позволяет им легко имитировать сложные

их сородичи, похоже, начисто лишены подобной склонности. Ситуация проясняется, если принять во внимание, что сложность когнитивного поведения представителей одного и того же вида животных во многом зависит от социальной среды, в которой они выросли.

Все сказанное как нельзя лучше иллюстрируется поведением орангутанов. Прославившиеся своей фантастической способностью совершать побеги из зоопарков, они с легкостью отпирают замки на дверях своих клеток. Если они попадают в неволю уже взрослыми, эти приматы не могут смириться с вынужденным пребыванием в запертой клетке и до конца жизни сохраняют страх и недоверие к людям. Зато животные, родившиеся в зоопарке, рассматривают ухаживающих за ними работников в качестве ценных «образцов для подражания», внимательно присматриваются к их деятельности,

Социальное обучение может поднять интеллектуальные способности животного на более высокий уровень

формы человеческой деятельности, понимать человеческую речь и даже рисовать. Сравнительно недавно эксперименты Сью Сэвидж-Рамбо (Sue Savage-Rumbaugh) из Университета штата Джорджия и ряда других исследователей позволили выявить потрясающие способности приматов к овладению человеческим языком. Специалисты нередко отмахиваются от подобных опытов, считая их лишеными научной строгости, однако их результаты воспроизводятся с завидным постоянством и свидетельствуют о громадном, хотя и не раскрытом когнитивном потенциале крупных человекообразных.

Наша гипотеза позволяет решить и еще одну загадку: почему в неволе многие приматы охотно пользуются инструментами (а иногда даже изготавливают их), тогда как в природе

к окружающим предметам и постепенно овладевают многочисленными полезными навыками.

Наша гипотеза позволяет предположить, что самые умные животные — те, которые живут сообществами, где любые изобретения отдельных особей без труда усваиваются остальными членами группы. Проверить такое предположение непросто. Животные разных видов столь сильно различаются уровнем интеллекта и образом жизни, что четких критериев оценки их умственных способностей не существует. Поэтому сегодня мы можем лишь задаваться вопросом, обладают ли животные, обнаруживающие бесспорные признаки высокого интеллекта, также и культурой, основанной на инновациях, и наоборот. Так, например, узнавание

собственного отражения в зеркале является плохо изученным, но несомненным признаком самосознания и свидетельствует о наличии высокого интеллекта. С подобной задачей успешно справляются только крупные человекообразные и дельфины, т.е. животные, понимающие многочисленные условные сигналы и обнаруживающие наибольшие способности к подражанию. Гибкая, основанная на инновациях орудийная деятельность, которую можно рассматривать как одно из проявлений интеллекта, в большей степени характерна для тех млекопитающих, которым присуще и обучение в социуме, — обезьянам, китообразным и слонам.

Замечательные умственные способности, обнаруживаемые крупными человекообразными в культурной среде, значительно сокращают размеры интеллектуальной пропасти, отделяющей человека от его родственников-приматов. По мнению многих исследователей, решающим событием стало появление в саванне ранних прямоходящих представителей *Homo*, способных использовать орудия труда. Для того чтобы выкапывать из земли корневища растений, разделять на части и оберегать от хищников туши крупных млекопитающих, люди должны были действовать сообща и изобретать все новые инструменты и стратегии.

Спустя 150 тыс. лет после своего возникновения *Homo sapiens* уже начал изготавливать более сложные предметы, не имеющие практической ценности, — украшения, музыкальные инструменты, погребальную атрибутику и т.д. Бурное развитие технологий на протяжении последних 10 тыс. лет показывает, что культура способна раскрыть поистине безграничные интеллектуальные возможности человеческого мозга, который мало изменился со времен каменного века. Иными словами — создать новый интеллект на основе старого мозга. ■



Орангутаны, обитающие близ западного побережья Суматры, отличаются большей коммуникабельностью, чем их сородичи в других регионах

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- A Model for Tool-Use Traditions in Primates: Implications for the Coevolution of Culture and Cognition. C.P. van Schaik and G.R. Pradhan in *Journal of Human Evolution*, Vol. 44, pages 645–664; 2003.
- Orangutan Cultures and the Evolution of Material Culture. C.P. van Schaik, M. Ancrenaz, G. Borgen, B. Galdikas, C.D. Knott, I. Singleton, A. Suzuki, S.S. Utami and M.Y. Merrill in *Science*, Vol. 299, pages 102–105; 2003.
- Conformity to Cultural Norms of Tool Use in Chimpanzees. Andrew Whiten, Vicky Horner and Frans de Waal in *Nature online*; August 2005.

Дерольд Трефферт, Дэниел Кристинсен

ФЕНОМЕНАЛЬНЫЙ МОЗГ



Ким Пик на фоне томограммы
своего мозга.

Американец
Ким Пик обладает
поистине уникаль-
ной памятью. Истoрия науки до
сих пор не знала
ничего подобного.
Пока мы не объ-
ясним природу
его уникальных
способностей, мы
не вправе утверж-
дать, что полнос-
тью понимаем
механизм функци-
онирования чело-
веческого мозга.

Впервые синдром одаренности, или феноменальные счетные способности (*savant syndrome*), был описан в 1887 г. Джоном Лэнгдоном Дауном (J. Langdon Down). Ученый отмечал его связь с поразительной силой памяти и в качестве примера приводил случай, когда человек мог дословно процитировать любой отрывок из «Истории упадка и разрушения Римской империи» Эдуарда Гиббона (*Edward Gibbon, The Decline and Fall of the Roman Empire*). (О возможностях человеческой памяти см. «Алхимия памяти», «ВМН», №8, 2004 г.) Практически во всех случаях, описанных с тех пор, поразительная способность запоминать информацию распространялась на определенные области, будь то музыка, живопись или математика. Однако память 54-летнего Кима Пика (Kim Peek) поистине феноменальна. Друзья в шутку называют его «Ким-пьютер».

Он и в самом деле может извлечь нужный факт из недр своей бездонной памяти столь же быстро, как поисковая система в Интернете. Так, всего за 1 час 25 минут он прочел книгу Тома Клэнси «Охота за Красным октябрем» (*Tom Clancy, The Hunt for Red October*) и спустя четыре месяца сумел не только назвать имя одного из героев романа, русского радиста, но и вспомнил страницу, на которой был описан данный персонаж, и даже дословно процитировал несколько абзацев. Уже в полтора года Ким слово в слово запоминал книги, которые ему читали. Сегодня он знает наизусть 9 тыс. произведений. Он проглатывает страницу за 10 секунд, а прочитанную книгу ставит обратно на полку вверх ногами, обозначая тем самым, что отныне и навсегда она «записана на жестком диске» его мозга.

Память Кима содержит все сведения, касающиеся 15 интересных его тем, среди которых мировая и американская история, спорт, кино, география, освоение

космоса, Библия, история церкви, литература и классическая музыка. Он знает все междугородные телефонные коды и почтовые индексы США, названия всех местных телевизионных станций страны. В его голове заключены карты всех городов Америки, и он может, подобно сайту *Yahoo*, дать рекомендацию, как проехать по любому из них. Ему знакомы сотни классических музыкальных произведений, он может рассказать, где и когда каждое из них было написано и впервые исполнено, называет имя композитора и различные подробности его жизни и даже рассуждает об особенностях музыкальной формы и тональности произведений. А в последние два года у него проявились новые способности: если раньше он лишь говорил о музыке, то теперь учится ее исполнять.

Между тем Ким страдает множественным серьезным расстройством, что, увы, характерно для всех людей с синдромом одаренности. У него странная походка, он не может застегивать свою одежду, не в состоянии выполнять обычные бытовые обязанности и с трудом мыслит абстрактными категориями. Однако на фоне такой беспомощности его экстраординарные таланты выделяются еще ярче. Если бы ученым удалось понять феномен Кима, они, возможно, сумели бы разобраться и в том, почему синдрому одаренности непременно сопутствуют определенные навыки, включая загадочную способность вычислять календарь на любой год (что всегда сочетается с обширной памятью). Недавно один корреспондент в разговоре с Кимом упомянул, что родился 31 марта 1956 г., и менее чем через секунду получил уточнение, что то была суббота на пасхальной неделе.

Картирование мозга Кима дало возможность выявить значительные структурные аномалии, которые, однако, пока не удастся связать непосредственно ни с одним из ▶

его талантов. Возможно, ученые смогут узнать что-либо с помощью новых методик картирования, позволяющих увидеть не только структуру мозга, но и его работу. Тем временем необходимо хотя бы описать поразительные способности Кима и особенности строения его мозга, поскольку таких людей очень мало и подробная характеристика феномена может оказать неоценимую услугу последующим поколениям исследователей. Изучение синдрома одаренности приоткрывает окно в удивительный мир человеческого разума.

Удивительный мозг

Ким родился 11 ноября 1951 г. (в воскресенье, как он всегда подчеркивает) с непропорционально большой головой и черепно-мозговой грыжей размером с бейсбольный мяч на затылке. Впрочем, она позже исчезла. Обнаружились и другие нарушения структуры мозга, в том числе деформация мозжечка. Один из нас (Кристинсен) впервые провел сканирование мозга Кима с помощью ЯМР-томографа в 1988 г. и с тех пор прекращает исследований.

Проблемы Кима с координацией движений, возможно, объясняются патологией мозжечка. Однако самым удивительным оказалось отсутствие мозолистого тела (мощного пучка нервных волокон), которое в норме соединяет левую и правую

половинки мозга. Мы не знаем, как это влияет на его способности. Подобный дефект встречается весьма редко и отнюдь не всегда сопровождается функциональными нарушениями. Известны случаи, когда отсутствие данного образования выявлялось у людей, не страдающих никакими заметными расстройствами. Однако у больных, мозолистое тело которых было перерезано в зрелом возрасте (обычно с целью предотвращения распространения эпилептического припадка с одного полушария на другое), возникает характерный синдром «расщепленного мозга», при котором каждое полушарие начинает работать независимо от другого.

Можно предположить, что у людей, родившихся без мозолистого тела, каким-то образом развиваются другие, резервные каналы связи между полушариями. Возможно, это позволяет им работать как одному гигантскому полушарию, совмещая под одной «крышей» функции, которые в норме разделены. Если такое предположение верно, то некоторыми из своих талантов Ким обязан именно этой аномалии. Ученые часто шутят, что у мозолистого тела всего две функции — служить проводником эпилептических припадков и не давать мозгу развалиться на две половинки. Однако тот факт, что одни люди, лишённые от рождения мозолистого тела, не страдают

никакими нарушениями, а другие приобретают феноменальные способности, свидетельствует о том, что роль данной структуры намного сложнее.

Левая сторона мозга Кима подвержена аномалиям, что характерно для многих людей с синдромом одаренности. Более того, поражением левого полушария ученые объясняют, почему у мужчин чаще, чем у женщин, возникает не только данный синдром, но также и дислексия, заикание, задержка речи и аутизм. Патология предположительно имеет две причины: во-первых, у эмбриона мужского пола более высокий уровень тестостерона, который может оказывать токсическое воздействие на развивающуюся нервную ткань; во-вторых, левое полушарие развивается медленнее, чем правое, а потому дольше остается уязвимым. В пользу того, что наличие феноменальных способностей зачастую связано с повреждением левого полушария, говорят многочисленные документально подтвержденные случаи приобретенного синдрома одаренности, когда дети старшего возраста и взрослые неожиданно проявляют необычные способности вследствие нарушения данной структуры мозга.

Какие же выводы следуют из вышесказанного? Можно предположить, что, когда левое полушарие не может функционировать должным образом, правое компенсирует дефект, развивая новые способности и привлекая к работе нервную ткань, изначально предназначенную для других целей. Возможно и то, что поражение левого полушария просто позволяет раскрыться дремлющим способностям правого, высвобождая их из-под «тирании» доминантного левого полушария.

Ким прошел психологическое тестирование в 1988 г. Общая оценка его коэффициента умственного развития (*IQ*) составила 87, однако в пределах вербальной и исполнительной частей теста наблюда-

ОБЗОР: ФЕНОМЕНАЛЬНЫЕ СПОСОБНОСТИ КИМА ПИКА

- Все известные проявления синдрома одаренности сопровождаются мощной памятью, у Кима Пика она феноменальна сама по себе.
- В мозге Кима обнаружено множество аномалий, в том числе отсутствие мозолистого тела. Роль подобного нарушения еще предстоит понять и выяснить, стимулирует ли повреждение определенных участков мозга компенсаторное развитие других его областей, или же оно просто позволяет проявиться скрытым способностям.
- Простое запоминание у Кима превратилось в форму ассоциативного творческого мышления. Успех фильма «Человек дождя» позволил ему обрести уверенность и существенно расширить границы своего мира.

лась значительная вариабельность: в одних случаях результат указывал на чрезвычайно высокий уровень интеллекта, а в других — на слабоумие. Заключение экспертов гласило: «результат оценки коэффициента умственного развития Кима не дает истинной картины уровня его интеллектуальных способностей». В психологии издавна идут споры о том, обладает ли человек одним общим сознанием или же множественными сознаниями. Мы убеждены, что случай Кима подтверждает правильность второй точки зрения.

Общий диагноз, поставленный Киму, был таков: «неспецифическое расстройство, обусловленное аномалиями развития». Следует отметить, что аутизм в эпикризе не значился. Данное нарушение чаще других связано с синдромом феноменальных способностей, однако оно выражено лишь у половины таких людей. В отличие от аутистических пациентов Ким — открытый человек, весьма располагающий к себе.

Память и музыка

Характерно, что для полного развития феноменальных способностей необходим прежде всего сильный интерес к чему-либо. Поначалу Ким просто запоминал любую информацию, однако со временем его интересы начали формироваться. Что касается абстрактного, или понятийного мышления, то здесь его способности ограничены, например, он не может объяснить смысла многих простых пословиц. Однако большую часть сведений, хранящихся в его памяти, он прекрасно понимает, что нехарактерно для людей с синдромом одаренности. Чтобы описать способность таких индивидов запомирать огромные объемы текста, не понимая смысла, Даун придумал примечательное выражение «вербальная адгезия» («словесное склеивание»). Сара Паркер (Sarah Parker), аспирант-психолог

из Пенсильванского университета, изучавшая подобные нарушения, выразила ту же мысль более образно, подчеркнув, что «обладание горой кирпичей еще не делает вас каменщиком». Если продолжить аналогию, Ким не только обладает огромным количеством кирпичей, но еще и стал удивительно творческим и многогранным «словесным каменщиком» по интересующим его вопросам.

Иногда он слишком буквально воспринимает обращенные к нему вопросы и просьбы. Однажды в ресторане отец попросил его понизить голос, и тогда Ким просто сполз на стуле, чтобы его голос звучал снизу. Но порой в своих ответах он проявляет изрядную находчивость. Когда его спросили о «Геттисбергском воззвании» Авраама Линкольна, Ким откликнулся: «Дом Уиллза, Северо-Западная улица, 227. Но он провел там всего одну ночь, а произнес речь на следующий день». Ким не собирался шутить, но когда его собеседник засмеялся, то понял, в чем дело, и с тех пор намеренно рассказывал эту историю с юмором.

Ким обладает неоспоримой способностью делать логические выводы. Однажды он присутствовал на Шекспировском фестивале, организованном неким филантропом, имя которого скрывалось за инициалами О.С. Несчастный меценат в тот момент подхватил ларингит и был не в состоянии произнести торжественное обращение к участникам мероприятия. Ким (поклонник Шекспира и, подобно ему, неисправимый шутник) метко сострил: «О.С., *can you say?*», обыграв совпадение инициалов простуженного мецената с названием одного популярного молодежного телесериала в США о сексуальных похождениях группы богатых молодых людей, что-то вроде «Секса в большом городе». (Название — аббревиатура от *Orange County* — района Калифорнии южнее Лос-Анджелеса. Фраза «О.С., ▶



Ким прочитывает страницу за 8–10 секунд и запоминает ее наизусть. В его памяти хранится 9 тыс. книг самого разнообразного содержания, от сонетов Шекспира до карт всех крупных городов США.

ОБ АВТОРАХ:

Дарольд Трефферт (Darold A. Treffert) и **Дэниел Кристинсен** (Daniel D. Christensen) давно интересуются синдромом одаренности. Трефферт, психиатр из Висконсина, начал исследовать аутизм и синдром одаренности в 1962 г., после своей первой встречи с человеком, обладавшим феноменальными способностями. Он выступил в роли консультанта фильма «Человек дождя» и написал книгу «Необычные люди: к пониманию синдрома одаренности» (*Extraordinary People: Understanding Savant Syndrome*). Кристинсен — профессор психиатрии и неврологии в Медицинской школе Университета штата Юта.

can you say?», видимо, представляет собой цитату из фильма.)

Творческое осмысление информации, хранящейся в закоулках памяти, можно сравнить с музыкальной импровизацией. Подобно музыканту, Ким думает настолько быстро, что порой трудно уследить за его замысловатыми ассоциациями. Часто возникает ощущение, что ход его мысли всегда на два-три шага опережает реакцию собеседников.

Недавно открылось новое и совершенно неожиданное проявление

феноменальных способностей Кима. В 2002 г. он встретился с Эйприл Гринан (April Greenan), директором Музыкальной библиотеки Маккея и профессором в Университете штата Юта. С ее помощью он вскоре стал учиться игре на фортепиано и, чтобы проиллюстрировать свои рассуждения о музыкальных произведениях, начал исполнять их фрагменты и целые пьесы, хранившиеся в его обширной памяти.

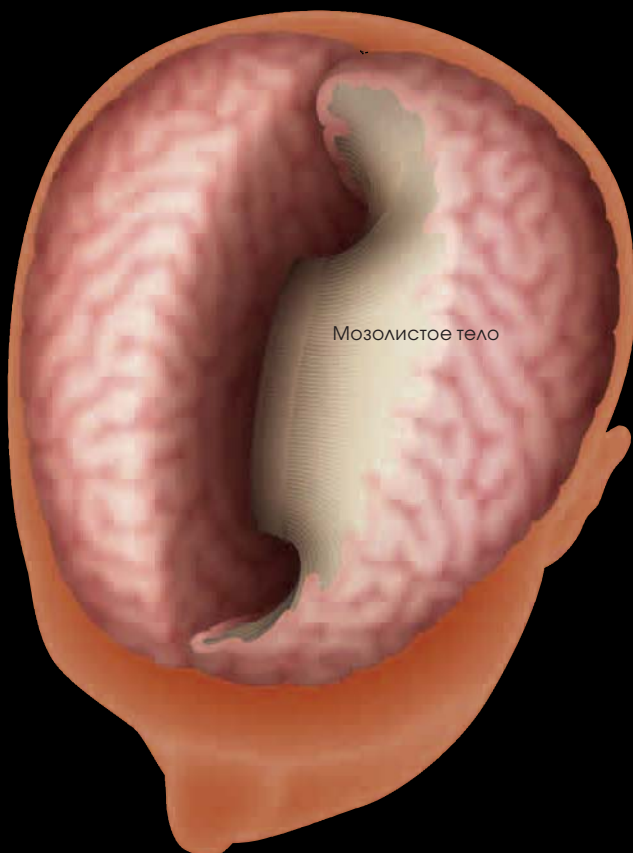
Ким знает все инструменты традиционного симфонического ор-

кестра и легко узнает их по звучанию в любом инструментальном отрывке. Например, он исполнил вступление к симфонической поэме Бедржиха Сметаны «Влтава», переложив партии флейты и кларнета в арпеджированный элемент для левой руки, объяснив, что гобои и фаготы вступают с основной темой, которую он изобразил отдельными звуками, а затем терциями правой рукой (продолжая при этом играть левой рукой в соответствии с партитурой). Его понимание музыкальных стилей

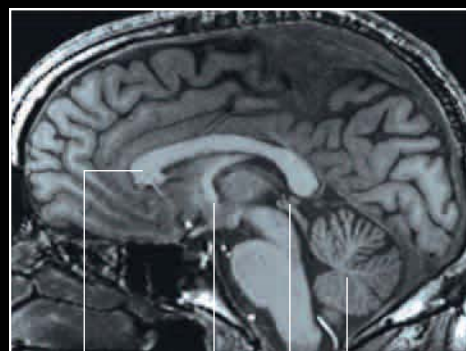
Мозг Кима Пика (фото внизу справа) существенно отличается от нормального (рисунок и фото вверху справа). Томограммы представляют собой срезы мозга, полученные с помощью ЯМР-томографии.

Мозг и голова Кима значительно больше, чем у 99% людей. У него отсутствует мозолистое тело, которое в норме соединяет левое и правое полушария. Кроме того, не хватает передней и задней комиссур,

выполняющих ту же функцию. Мозжечок, отвечающий за некоторые двигательные функции, меньше обычного и деформирован, что может отчасти объяснить плохую координацию движений Кима, большая часть окружающего его пространства занята жидкостью. Ученые проводят исследования, призванные выяснить, как эти аномалии связаны с его феноменальными способностями.

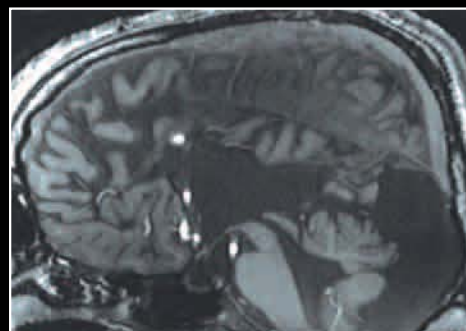


НОРМАЛЬНЫЙ МОЗГ



Мозолистое тело
Передняя комиссура
Мозжечок
Задняя комиссура

МОЗГ КИМА ПИКА



выражается в способности узнавать композиторов по произведениям, которые он никогда раньше не слышал, ориентируясь лишь на музыкальный стиль.

При всей внешней неуклюжести Кима его руки обретают все большую ловкость. Сидя у фортепиано, он может сыграть пьесу, которую хочет обсудить, напеть мелодию или описать музыку словами, незаметно переходя от одного способа объяснения к другому, подчеркивая ритм постукиванием.

Гринан, исследователь творчества Моцарта, делится своими наблюдениями: «Познания Кима в музыке весьма значительны. Поразительно, что он помнит каждый штрих даже тех произведений, которые он слышал всего раз, причем более 40 лет назад. Его замечания о взаимосвязи музыкальных произведений, биографических фактов из жизни композиторов, исторических событий, мелодий из фильмов и тысяч других подробностей раскрывают масштаб его интеллектуальных способностей». Она даже сравнивает его с Моцартом, который также имел большую голову, пристрастие к числам и неоднозначным методам общения. Не исключено, что Ким еще научится и сочинять музыку, полагает она.

Жизнь после «Человека ДОЖДЯ»

В 1984 г. Ким случайно встретился с писателем Барри Морроу (Barry Morrow). Способности Кима настолько поразили романиста, что вдохновили его написать сценарий фильма «Человек дождя», главный герой которого Реймонд Беббит (Raymond Babbitt), сыгранный Дастином Хоффманом (Dustin Hoffman), поражен синдромом одаренности. События фильма, однако, полностью вымышлены и ни в коей мере не совпадают с реальной жизнью Кима. Правда, есть одна любопытная деталь — в одной из сцен Реймонд мгновенно вычисляет квадратные корни в уме, и его брат

Чарли замечает: «Ему бы надо работать в NASA». Киму было бы вполне по силам подобное сотрудничество.

NASA предложило создать трехмерную анатомическую модель мозга Кима с высоким разрешением. По словам Ричарда Бойля (Richard Boyle), директора Технологического центра BioVIS при NASA, данный проект должен стать составной частью более масштабной программы, цель которой — собрать и обобщить результаты сканирования мозга большого количества людей. Полученные данные — как анатомические, так и функциональные — позволят исследователям выявить и идентифицировать те процессы в мозге, которые сопровождают мышление и определяют поведение. Специалисты NASA надеются, что такая детализированная модель даст врачам возможность уточнить интерпретацию данных ультразвукового сканирования (УЗИ). Его возможности ограничены, но это единственно доступный метод для наблюдения за астронавтами, поскольку в космос можно поднять лишь такое оборудование.

Съемки и успех «Человека дождя» стали переломным моментом в судьбе Кима. Раньше он вел жизнь затворника, спешил скрыться в своей комнате, когда в дом приходили люди. Однако общение со съемочной группой и известность, принесенная успехом фильма, придали ему уверенности в себе и вдохновили Кима рассказать людям о своих талантах. За последние годы он поведал свою историю более чем 2,6 млн. человек и подарил надежду многим инвалидам.

Исследования поразительных способностей таких людей, как Ким, чрезвычайно важны для науки и медицины. Изучение патологии поможет понять механизм обычной человеческой памяти и, несомненно, будет сопровождаться как научными открытиями, так и новыми свидетельствами удивительных способностей человеческого мозга.



Недавно Ким начал играть на фортепиано. Несмотря на плохую координацию движений, он делает большие успехи. Профессор Эйприл Гринан и отец Кима, Фрэн, поощряют его усилия.

Однако сегодня мы мало знаем о таких, как Ким, а потому можем дать лишь некоторые практические рекомендации, как ухаживать за подобными больными.

Членам семьи и опекунам следует внимательно относиться к феноменальным способностям своих подопечных, не отмахиваться от них, тренировать талант, поскольку с его помощью нездоровый человек может наладить контакт с окружающим миром и компенсировать последствия своей инвалидности. Такой путь нелегок, поскольку беспомощность людей с какими бы то ни было нарушениями и вынужденные ограничения требуют от родных самопожертвования, терпения и тяжелой работы. ■



Филип Росс

КАК ВОСПИТАТЬ ГЕНИЯ?

Занятия, требующие усилий, становятся ключом к достижению успеха в шахматах, классической музыке, футболе и многих других областях. Современные исследования показывают, что мотивация оказывается при этом более важным фактором, чем наличие врожденных способностей

Исследование процессов мышления у шахматных гроссмейстеров помогло понять, каким образом люди становятся компетентными специалистами и в других областях

Человек ходит от одного шахматного стола к другому, ему достаточно одного взгляда на доску, чтобы сделать ход. Его противники — почти три десятка шахматистов-любителей. На дворе 1909 г., блистательный игрок — кубинец Хосе Рауль Капабланка, результат игры — сухой счет: 28 побед в 28 партиях. Упомянутый сеанс одновременной игры был частью турне, в котором гроссмейстер выиграл 168 партий подряд.

Как же ему удавалось играть столь блистательно, столь быстро? И на сколько ходов он мог просчитать возможные комбинации? «Я вижу только на один ход вперед, — говорил Капабланка, — но это всегда правильный ход».

Его сентенция кратко выразила то, что в дальнейшем было подтверждено целым столетием исследований в области психологии: превосходство мастера-шахматиста над новичком обычно проявляется с первых же секунд. Столь же быстрое восприятие, базирующееся на знании, которое иногда называют апперцепцией, свойственно компетентным специалистам и в других областях. Подобно тому, как гроссмейстер может вспомнить все ходы в только что сыгранной им партии, профессиональный музыкант зачастую способен записать партитуру сонаты, которую он слышал всего

один раз, а опытному врачу подчас достаточно лишь взглянуть на пациента, чтобы поставить точный диагноз.

Но как приобретаются столь экстраординарные навыки? Что здесь важнее — талант или интенсивная тренировка и практика? В поисках ответа на подобные вопросы психологи принялись изучать мыслительные способности выдающихся шахматистов. В результате появились новые теории, объясняющие, как происходят организация и воспроизведение информации. Такие исследования крайне важны, в частности, для сферы образования, т.к. методы, применяемые шахматистами для развития своих навыков, в будущем могут быть использованы для обучения школьников чтению, письму и арифметике.

Дрозофила когнитивных наук

Как показывают многочисленные исследования, постоянно используемый навык формируется с самого детства, развиваясь «линейно и непрерывно лет до 35, и достигает к этому возрасту максимума», — говорит Джон Бок (John Bock), антрополог из Университета штата Калифорния в Фуллертоне. На то, чтобы подготовить нейрохирурга, уходит меньше времени.

Если человек ярко не выделяется своими способностями на фоне среднестатистического уровня коллег, его нельзя назвать по-настоящему квалифицированным специалистом, он может считаться лишь обладателем хорошего диплома. Такие люди, к сожалению, встречаются слишком часто. Исследования последних двух десятилетий показали, что если судить строго, то профессиональные биржевые игроки действуют не лучше, чем любители, истинные ценители вин различают напитки едва ли тоньше, чем профаны, а известные психиатры способны помочь пациентам не больше, чем их коллеги, не обремененные степенями и званиями. И даже когда наличие компетентности не вызывает сомнений, например, в области

образования или бизнеса, ее зачастую трудно измерить, а тем более объяснить.

Навык игры в шахматы все же можно измерить, разложить на компоненты, подвергнуть лабораторным экспериментам и без особых трудностей наблюдать в естественной обстановке — в зале соревнований. Именно поэтому шахматы стали главным и единственным полигоном для изучения теорий мышления: эту игру в шутку даже называли «дрозофилой когнитивных наук».

Изучение навыков игры в шахматы продвинулось дальше простого подсчета числа выигрывшей. Статистические формулы позволяют сравнивать новые результаты с прежними и засчитывают победу в зависимости от силы противника. В результате формируются рейтинги, которые предсказывают исход партии с поразительной точностью. Если игрок А превосходит соперника Б на 200 единиц, то А выиграет у Б в 75% случаев. Такие расчеты верны как для игроков высшего уровня, так и для любителей. Российский гроссмейстер Гарри Каспаров, имеющий рейтинг 2812, выиграет 75% партий у Яна Тиммана из Нидерландов, рейтинг которого — 2616. Аналогичным образом игрок с рейтингом 1200 (около медианы) выиграет 75 раз из 100 у шахматиста с рейтингом 1000 (примерно на уровне 40-го перцентиля). Подобные измерения позволяют психологам оценивать квалификацию по реальным результатам, а не по репутации, и проследить изменения навыков данного игрока на протяжении всей его карьеры.

Еще одной причиной того, что исследователи когнитивных процессов выбирают в качестве модели шахматы, а не бильярд или, скажем, бридж, стала репутация игры, которая, говоря словами немецкого поэта Вольфганга Гете, служит пробирным камнем интеллекта. Фантастические способности шахматных мастеров давно связывали с их почти магической силой ума, которая проявляется ярче всего в играх вслепую, когда игрокам не разрешается ▶

смотреть на доску. В 1894 г. французский психолог Альфред Бинэ (Alfred Binet), один из изобретателей первого теста на интеллект, попросил крупных шахматистов описать процесс их мышления в ходе игры. Он начал с предположения, что они держат в голове почти фотографическую картинку доски, но вскоре пришел к выводу, что их восприятие куда более абстрактно: гроссмейстер пользуется лишь общим знанием о том, где находится данная фигура относительно других. Аналогичный механизм позволяет нам, напри-

примерности игры, поскольку он может по своему желанию реконструировать любую конкретную деталь на основе хорошо организованной системы связей.

Разумеется, если обладание таким сложным структурированным знанием объясняет не только успех в игре вслепую, но также и другие способности выдающихся шахматистов (расчет и планирование), тогда квалификация в игре будет зависеть не столько от врожденных способностей, сколько от специальной подготовки. Голландский психолог

объема рассматриваемой информации не происходило: шахматные короли анализировали не большее число ходов, а лучшие из возможных (именно об этом некогда говорил Капабланка).

Недавние исследования показали, что на результаты, полученные де Гротом, повлиял характер позиций, выбранных им для проведения теста. Чтобы гроссмейстеры смогли показать себя, им требуется такая расстановка фигур, при которой принципиально важно произвести множество точных вычислений, — что и было продемонстрировано. В подобной ситуации они будут проводить более глубокий поиск возможных ходов, чем начинающий шахматист. Точно так же опытный физик в состоянии проанализировать намного больше возможностей решения той или иной задачи, чем студент. Однако в обоих случаях специалист полагается не столько на более развитую способность анализа, сколько на превосходящий багаж структурированного знания. Столкнувшись с трудной ситуацией, слабый игрок может просчитывать варианты целых полчаса, нередко заглядывая на множество шагов вперед, и все равно упустит свой шанс, в то время как гроссмейстер сразу увидит правильный ход без какого-либо сознательного анализа.

Де Грот провел следующий опыт: он просил своих испытуемых рассматривать позицию на шахматной доске в течение некоторого времени и затем попытаться восстановить ее по памяти. Результаты соответствовали мастерству игроков: если начинающие изучали расположение фигур в течение 30 секунд и могли запомнить лишь некоторые детали, то мастера обычно, лишь глянув на доску, могли в точности описать всю позицию. Таким образом, речь идет об особой форме памяти, специфичной по отношению к позициям, характерным для игры. Причем подобные особенности восприятия не являются врожденными, а приобретаются в результате тренировок. В общих же тестах на память гросс-

Превосходство мастера игры в шахматы над новичком проявляется с первых же секунд

мер, помнить расположение станций на линиях метро.

Участник игры вслепую знает все детали текущей партии и помнит ключевые моменты прошлых игр. Предположим, что он вдруг забыл, где находится пешка. Он найдет ее, проанализировав стереотипные стратегии открытия партии — хорошо изученной фазы игры с относительно небольшим количеством вариантов. Или же игрок может воспроизвести логику одного из своих предыдущих ходов, размышляя, например, так: «Я не мог съехать слона два хода назад, следовательно, эта пешка должна была мне мешать...». Ему не обязательно постоянно держать в голове все

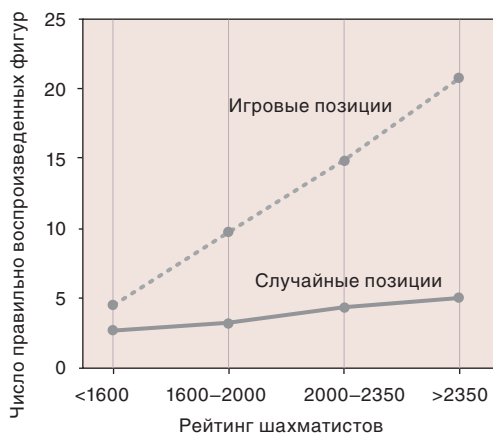
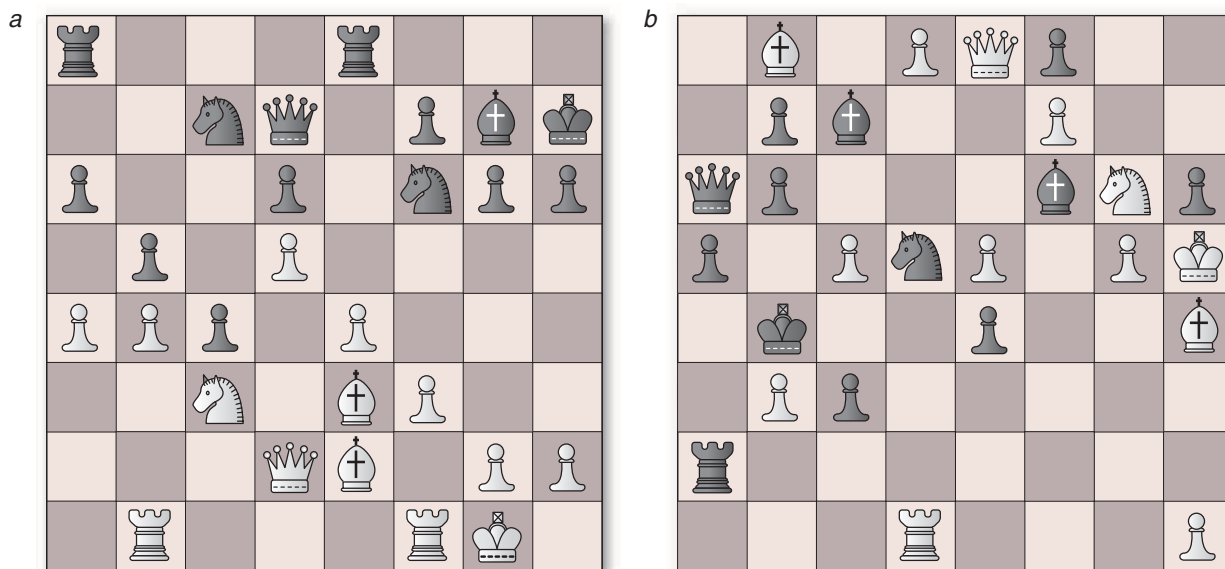
Адриан де Грот (Adriaan de Groot), сам будучи выдающимся шахматистом, подтвердил данное представление в 1938 г., воспользовавшись своим участием в подготовке крупного международного турнира в Голландии, чтобы сравнить способности средних и сильных игроков с потенциалом ведущих мировых гроссмейстеров. В частности, он просил участников описать ход их мысли, возникающий при виде позиций, выбранных из различных партий турнира. Он обнаружил, что хотя сильные шахматисты способны проанализировать значительно больше возможностей, чем слабые, начиная с определенного уровня мастерства дальнейшего увеличения

ОБЗОР: ЧЕМУ НАС НАУЧИЛИ ШАХМАТЫ

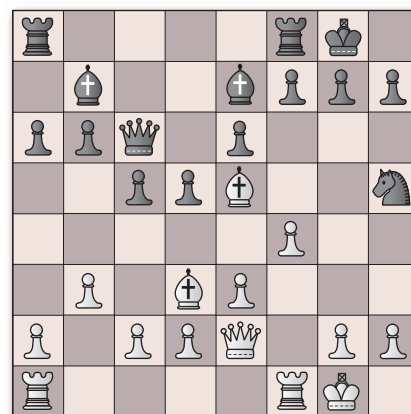
- Поскольку мастерство шахматиста легко измерить и изучить в ходе лабораторных экспериментов, эта игра стала важным полигоном для проверки теорий в области когнитивных наук.
- Исследователи обнаружили, что гроссмейстеры полагаются на обширное знание игровых позиций. Некоторые специалисты предположили, что великие шахматисты организуют информацию в виде блоков, которые легко извлечь из долговременной памяти и манипулировать ими на уровне рабочей памяти.
- Чтобы накопить багаж структурированных знаний, гроссмейстеры должны затратить годы на усиленные занятия и всякий раз браться за задачи, слегка превосходящие их возможности. Видимо, выдающиеся музыканты, математики и спортсмены приобрели свое мастерство тем же путем, а соревнования и радость победы служили им мощным стимулом.

ПАМЯТЬ ГРОССМЕЙСТЕРА

Эксперименты показывают, что память ведущих игроков настроена на типичные шахматные позиции. В 13 исследованиях, проведенных с 1973 по 1996 г., шахматистам различного уровня показывали позиции из реальных игр (а) и те, что были получены путем случайного размещения фигур (b). От шахматистов требовалось рассмотреть расположение фигур не более 10 секунд, а затем воспроизвести его по памяти. Результаты (график внизу) показали, что мастера (с рейтингом 2200 или более) и гроссмейстеры (2500 и выше) запоминали реальные игровые позиции значительно лучше слабых игроков, однако когда дело касалось случайного размещения фигур, чемпионы не имели существенных преимуществ. Вероятно, такая тонко настроенная долговременная память принципиально важна для высококвалифицированного шахматиста



Структурированное знание шахматных позиций позволяет гроссмейстерам быстро находить правильный ход. Позиция, изображенная справа, возникла в ходе известной игры 1889 г. между Эммануэлем Ласкером (Emanuel Lasker) (белые) и Иоганном Бауером (Johann Bauer) (черные). Если начинающий игрок, чтобы увидеть выигрышный ход белых, произведет обширный анализ позиций, то любой гроссмейстер распознает его сразу. Правильный ход показан на стр. 61.



мейстеры ни в чем не превосходят остальных людей.

Сходные таланты демонстрируют также игроки в бридж, способные воспроизвести комбинации карт во многих играх, компьютерные программисты, наизусть помнящие огромные участки компьютерного кода, музыканты, которые держат в памяти целые произведения. В целом, наличие такой памяти, проявляющейся в той или иной

области, служит стандартным способом проверки квалификации.

Тот факт, что специалисты более полагаются на структурированное знание, чем на анализ, подтверждается и конкретными примерами. Так, некий начинающий шахматист D.H. за девять лет сделал поразительные успехи и к 1987 г. стал одним из лидирующих игроков Канады. Наблюдавший за ним Нейл Чарнесс (Neil Charness), профессор психоло-

гии Университета штата Флорида обратил внимание, что секрет успеха был не в более глубоком анализе шахматных позиций, а в увеличившемся объеме знаний о них и связанных с ними стратегий.

Теория блоков

В 1960-х гг. Герберт Саймон (Herbert A. Simon) и Вильям Чейз (William Chase) из Университета Карнеги-Меллона, чтобы лучше понять ▶

механизм памяти специалистов, попытались исследовать ее ограничения. Они просили шахматистов различного уровня восстановить по памяти искусственно созданные шахматные позиции, т.е. случайное расположение фигур на доске, а не то, что возникло в ходе реальной игры. Корреляция между мастерством игрока и точностью воспроизведения «шахматной обстановки» была значительно менее выражена для искусственных случайных позиций по сравнению с реальными.

Исследователи продемонстрировали, что память шахматиста еще более специфична, чем казалось ранее, поскольку она настроена не просто на саму игру, а на типичные шахматные ходы. Подобные эксперименты подтвердили результаты предыдущих опытов, доказавших, что способности в одной области, как правило, не распространяются на другую. Американский психолог Эдвард Торндайк (Edward Thorndike) еще сто лет назад первым обратил внимание на это обстоятельство, заметив, что изучение, скажем, латинского языка, не помогает овладеть английским, а человек, мастерски доказывающий геометрические

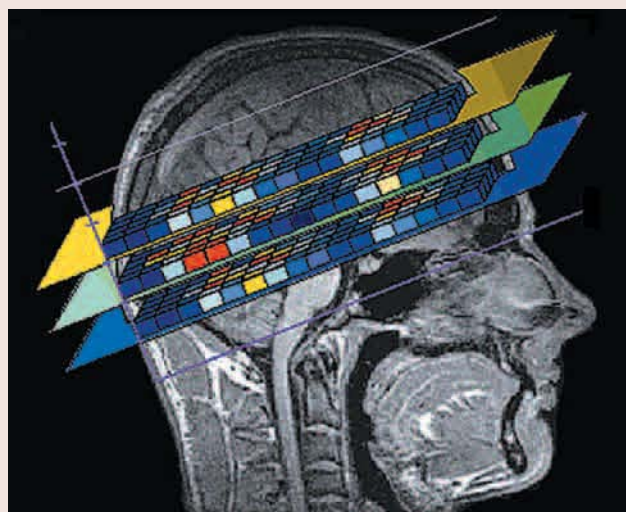
теоремы, не всегда способен логически мыслить в повседневной жизни.

Чтобы понять особенности памяти гроссмейстеров, Саймон воспользовался моделью, основанной на осмысленных паттернах, названных им блоками, что, по его мнению, объясняет, как выдающимся шахматистам удается оперировать огромным количеством данных, не перегружая рабочую память. В свое время психолог Джордж Миллер (George Miller) из Принстонского университета произвел известную ныне оценку пределов рабочей памяти, своего рода буфера для временных записей у нас в голове. В своей статье «Магическое число семь плюс-минус два» (*The Magical Number Seven, Plus or Minus Two*), вышедшей в 1956 г., он доказал, что люди способны держать в голове одновременно от пяти до девяти объектов. Саймон утверждал, что при помощи иерархической «упаковки» информации шахматисты получают возможность преодолеть этот предел, рассматривая не отдельные фигуры и ходы, а целые блоки.

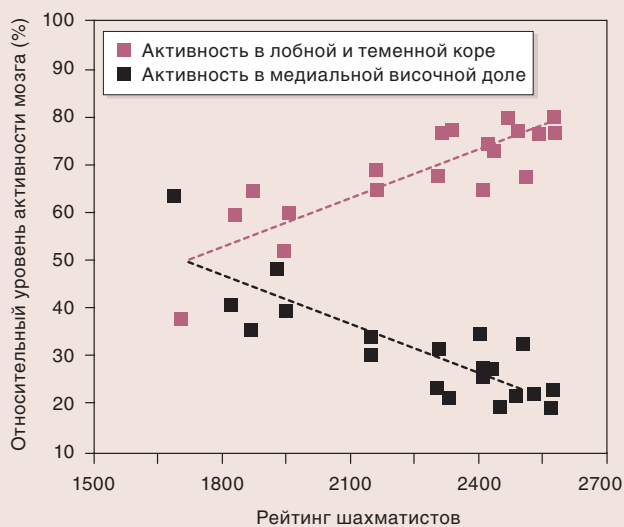
Воспользуемся литературным примером. Возьмем, например, предложение *Mary had a little lamb* («У Мэри

был ягненок»). Количество блоков информации в предложении зависит от знания английского языка и самого стихотворения. Для большинства англичан данное предложение будет частью более крупного блока — известного стихотворения. Для человека, владеющего английским, но не знакомого с произведением, приведенная фраза будет отдельным самостоятельным блоком. Для того, кто может прочесть слова, но не понимает их значения, отрывок предстанет пятью блоками, и он же покажется 18 блоками тому, кто знает лишь буквы, но не может сложить их в слова.

Аналогичным образом предложенную информацию воспринимают и шахматисты. Для начинающего игрока доска с двадцатью фигурами будет содержать столько информационных блоков, сколько комбинаций могут составлять фигуры. А гроссмейстер увидит позицию как «фианкеттированный слон на рокированном королевском фланге» в сочетании с «блокированными пешками в стиле стариндийской защиты», и таким образом спрессует всю картину в пять-шесть блоков. Оценивая время, необходимое



Активность мозга чемпионов по шахматам отличается от таковой у новичков. В ходе исследования эксперты произвели магнитоэнцефалографию (измерение магнитных полей, вызываемых электрическими токами в мозге) у добровольцев, играющих в шахматы против компьютера. У слабых игроков (фото слева) активность мозга была более выражена в медиальной височной доле (левая сторона цветных срезов), чем в лобной и теменной коре (правая сторона). Данные показатели говорят о том, что шахматисты-любители анализировали непривычные для них новые ходы. У гроссмейстеров же наиболее активными были лобная и теменная кора, что соответствует извлечению информации из долговременной памяти



на формирование нового блока в памяти, и число часов, которые игрок должен провести за изучением шахмат, прежде чем станет гроссмейстером, Саймон подсчитал, что мастер владеет приблизительно 50–100 тыс. блоками шахматной информации. Гроссмейстер может извлечь из памяти любой из них, лишь взглянув на доску, подобно тому, как большинство англичан вспомнят стихотворение *Mary had a little lamb*, едва услышав первые слова.

Теория блоков все же не могла полностью объяснить некоторые особенности памяти, в том числе умение специалистов демонстрировать свои удивительные способности даже когда их отвлекают. Андерс

в 1995 г. он и Уолтер Кинч (Walter Kintsch) из Колорадского университета обнаружили, что если профессионального чтеца прервать на полуслове, ему потребуется всего несколько секунд, чтобы вернуться к тексту. Исследователи назвали данный феномен долговременной рабочей памятью, хотя такой термин по сути является оксюмороном, т.к. соотносит долговременную память с мышлением, что всегда считалось неверным. Однако выполненные в 2001 г. в Констанцском университете в Германии томографические исследования подтвердили приведенную теорию: они продемонстрировали, что у шахматистов высокого уровня долговременная память

Сотворение гениев

Все теоретики сходятся в одном: чтобы создать в памяти подобные структуры, требуется масса усилий. Саймон сформулировал свой собственный психологический закон — «правило десяти лет», согласно которому примерно столько времени напряженного труда требуется для безупречного овладения каким-либо мастерством. Даже такие юные гении, как математик Гаусс, композитор Моцарт и шахматист Бобби Фишер, должны были затратить эквивалентные усилия — просто они начали раньше и, вероятно, занимались более усердно, чем остальные.

Согласно такой точке зрения, появление в последние годы большого числа одаренных детей-шахматистов просто отражает внедрение новых методов обучения с применением компьютерных технологий, которые позволяют ребятам изучать гораздо больше партий, сыгранных мастерами, и с помощью соответствующих программ играть на высоком уровне значительно чаще, чем их предшественники. В 1958 г. Фишер произвел сенсацию, получив титул гроссмейстера в возрасте 15 лет; сегодняшний рекордсмен, Сергей Карякин с Украины, достиг тех же высот в 12 лет.

Эрикссон утверждает, что важна не тренировка сама по себе, а «занятия, требующие усилий», когда человек постоянно пытается решать задачи, несколько превосходящие его возможности. Энтузиаст может часами играть в шахматы, в гольф, или на музыкальном инструменте, но так и не выйдет за пределы любительского уровня. Ученик же, не просто повторяющий те или иные действия, а стремящийся выйти за пределы своих возможностей, в конце концов достигнет мастерства. То есть имеет значение не время, проведенное непосредственно за игрой в шахматы, а сознательная тренировка, основанная на преодолении. Что касается соревнований, то они выявляют слабые места, на которых нужно сконцентрировать внимание при последующем обучении. ▶

Для овладения любой областью знаний требуется примерно десять лет интенсивного труда

Эрикссон (K. Anders Ericsson) из Университета штата Флорида и Чарнесс убеждены, что должен существовать какой-то другой механизм, позволяющий мастерам своего дела использовать долговременную память так, будто она тоже стала буфером для временных записей. «С помощью теории блоков невозможно объяснить, каким образом опытным шахматистам удается играть вслепую, поскольку сначала нужно знать позицию, а затем исследовать ее в своей памяти», — размышляет Эрикссон. Подобные действия требуют некоторого изменения устойчивых блоков. Для сравнения: если попросить человека прочесть наизусть стихотворение *Mary had a little lamb* задом наперед, то у него вряд ли получится с первого раза безошибочно справиться с заданием. Однако игра гроссмейстеров вслепую обычно безупречна.

В ходе своих изысканий Эрикссон также исследовал особенности памяти врачей, накапливающих информацию в долговременной памяти и затем обращающихся к ней, чтобы поставить диагноз. Эрикссон приводит еще один любопытный пример:

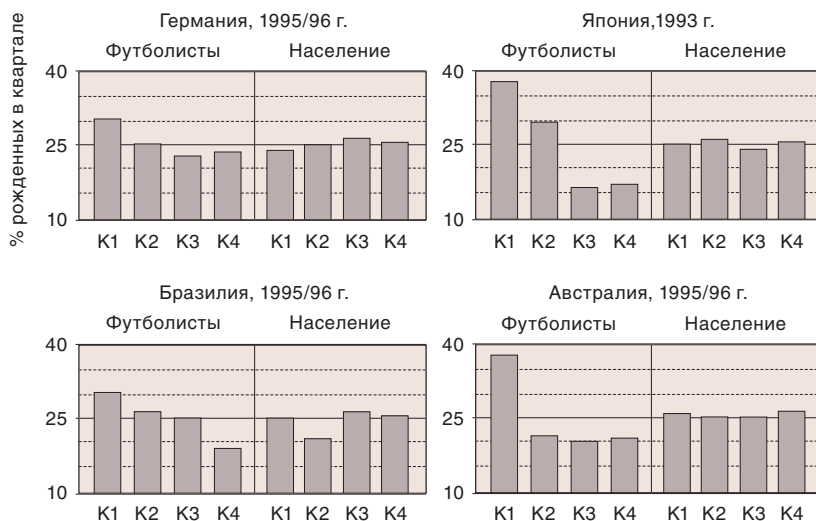
задействована гораздо в большей степени, чем у новичков.

Фернан Гобэ (Fernand Gobet) из Брюнельского университета в Лондоне выступил с альтернативной теорией, разработанной им совместно с Саймоном в конце 1990-х гг. Она расширяет теорию блоков за счет введения понятия высокоспецифичных больших паттернов, состоящих из десятков комбинаций. Такой шаблон, по их мнению, имеет некоторое количество ячеек, куда гроссмейстер может помещать некие переменные, например, пешку или слона. Шаблон может существовать, скажем, для такого понятия, как «положение изолированной проходной пешки из защиты Нимцовича». Шахматист может изменить в ней один элемент, обозначив ее для себя как ту же самую позицию «минус чернопольные слоны». Если снова прибегнуть к аналогии со стихами, то это все равно, что запомнить вариацию строфы *Mary had a little lamb*, заменяя в ней отдельные слова на их ритмические эквиваленты, например, *Mary* на *Larry* и т.п. Каждый, кто знает исходный шаблон, без труда усвоит и измененное предложение.

ТРЕНИРОВКА БЕРЕТ ВЕРХ НАД ТАЛАНТОМ

Результаты исследования деятельности профессиональных футболистов показали, что они обязаны своим успехом не столько таланту, сколько тренировке. Как выяснилось, дни рождения многих выдающихся игроков Германии, Бразилии, Японии и Австралии приходились на тот квартал года (К1), который следует сразу за датой приема в детские футбольные секции (*графики справа*), т.е. в момент поступления в секцию они были старше остальных, выше, сильнее, что давало им преимущество, позволяя чаще захватывать мяч и забивать голы. Успех в первые годы обучения побуждал их стремиться к дальнейшему совершенствованию. В результате процент таких футболистов в профессиональных лигах крайне высок. Мощная мотивация и практика объясняют необычайные успехи таких юных гениев, как австрийский композитор Вольфганг Амадей Моцарт (*слева*) и американский игрок в гольф Тайгер Вудс (*Tiger Woods*) (*справа*)

Примечание: в Германии, Бразилии и Австралии принимали в секции родившихся до 1 августа, в Японии — до 1 апреля



Нетрудно заметить, что новичок в любом деле (будь то игра в гольф или вождение машины) довольно быстро совершенствуется на первом этапе именно потому, что прилагает значительные усилия. Однако, достигнув удовлетворительного уровня, например, сравнившись по умению с приятелями или получив водительские права, многие успокаиваются. В дальнейшем их действия доходят до автоматизма и потому не поддаются совершенствованию. Между тем истинный профессионал своего дела не останавливается на достигнутом, способен критически оценивать свое мастерство, сознательно развивать и дополнять его, достигая таким образом лидерства.

С течением времени планка высокой квалификации тоже поднимается. Теперь даже школьники

старших классов пробегают дистанцию в 1,6 км за четыре минуты, а студенты консерватории играют пьесы, которые раньше решались исполнять лишь виртуозы. Что касается шахмат, то недавно Джон Нанн (John Nunn), британский математик и гроссмейстер, с помощью компьютера сравнил ошибки, совершенные во всех играх двух международных турниров, один из которых проходил в 1911 г., а другой в 1993 г. Оказалось, что современные шахматисты играют намного лучше. Затем Нанн изучил все игры одного игрока среднего уровня, проведенные в 1911 г., и заключил, что его рейтинг сегодня не превышал бы 2100, т.е. был бы на сотни пунктов ниже гроссмейстерского уровня. «И это еще в хороший день и с попутным ветром», — шутит Нанн. Высот же сегодняшних

лидеров не достигали даже лучшие мастера того времени.

Напомним, однако, что Капабланка и его современники не имели ни компьютеров, ни баз данных по шахматным партиям. Они должны были постигать все самостоятельно, равно как и Бах, Моцарт и Бетховен, и если они и уступали сегодняшним профессионалам в технике, то намного превосходили их по силе творческого мышления. Тем и отличается Ньютон от новоиспеченного обладателя научной степени по физике.

Прочитав вышесказанное, многие скептики должны, наконец, потерять терпение. Наверняка, скажут они, для того, чтобы попасть в Карнеги-холл, требуется нечто большее, чем всего лишь практика, практика и еще раз практика. Однако, как ни странно, уверенность в необ-



Грэхем Коллинз

УЗЕЛКОВЫЙ КВАНТОВЫЙ КОМПЬЮТЕР

Сплетая траектории квазичастиц, существующих в двумерном электронном газе, можно выполнять квантовые вычисления, с которыми не справится ни один классический компьютер

Чтобы создать работоспособный квантовый компьютер, нужно представить вычисления в виде переплетения пространственно-временных траекторий двухмерных квазичастиц

Считается, что квантовые компьютеры смогут выполнять вычисления, непосильные для обычных ЭВМ и имеющие большое практическое значение. Например, многие широко используемые шифры можно было бы легко взломать, если бы компьютер мог быстро раскладывать большие числа на простые множители. В принципе, любой современный шифр уязвим для того или иного квантового алгоритма.

Квантовый компьютер обладает колоссальной вычислительной мощностью, потому что информация в нем представлена не в виде обычных битов, а в виде кубитов (квантовых битов). Классический бит может быть равен либо нулю, либо единице, и архитектура современных цифровых микросхем зиждется на этой дихотомии. Кубит же может находиться в состоянии суперпозиции, при котором в определенной пропорции сосуществуют и ноль, и единица. Возможные состояния кубита можно представить точками на сфере, северный полюс которой соответствует классической единице, южный — нулю, а остальные точки — всем возможным их суперпозициям (см.: *Правила для сложного квантового мира // ВМН, № 3, 2003*). Именно свободой перемещения кубитов по сфере обуславливаются уникальные возможности квантовых компьютеров.

К сожалению, построить квантовый компьютер чрезвычайно трудно. В качестве кубитов обычно выступают определенные квантовые свойства атомных ионов или электронов, удерживаемых в ловушках. Но их состояния суперпозиции невероятно хрупки и разрушаются при малейшем взаимодействии с окружающей средой, в том числе с материалами, из которых сделан сам компьютер. Когда кубиты недостаточно тщательно изолированы, внешние возмущения приводят к ошибкам в вычислениях, поэтому большинство исследователей

сосредоточивает свои усилия на минимизации взаимодействия кубитов с окружающей средой. Если частоту ошибок удастся снизить до одной на 10 тыс. шагов, то распад отдельных кубитов можно будет компенсировать с помощью алгоритма исправления ошибок. Создание работоспособной машины с большим числом хорошо изолированных кубитов и столь низкой частотой ошибок — тяжелая задача, до решения которой физикам еще очень далеко.

Некоторые исследователи пошли по другому пути и занялись разработкой квантового компьютера, в котором тонкие квантовые состояния зависят от топологических свойств физических систем. Топология — это раздел математики, посвященный свойствам объекта, которые не меняются при его плавной деформации, допускающей растяжение, сплющивание и изгибание, но не разрезание или склеивание. Малые возмущения не изменяют топологических свойств. Например, замкнутая петля из нити с завязанным узлом топологически отличается от замкнутой петли без узла (рис. на стр. 29). Чтобы превратить замкнутый контур в замкнутый контур с узлом, необходимо разрезать нить, завязать на ней узел и затем снова склеить концы. Аналогично, чтобы перевести топологический кубит в другое состояние, необходимо подвергнуть его сложному силовому воздействию. Небольшим возмущениям окружающей среды это не под силу.

На первый взгляд, топологический квантовый компьютер вообще не похож на компьютер. Он выполняет вычисления на сплетениях гипотетических нитей, которые представляют собой мировые линии, отражающие движение частиц во времени и пространстве. (Представьте, что длина нити изображает движение частицы во времени, а толщина представляет физические размеры частицы.) ►

Более того, рассматриваемые частицы непохожи на электроны и протоны. Речь идет о квазичастицах — возбуждениях в двухмерной системе электронов, которые ведут себя как частицы и античастицы, изучаемые в физике высоких энергий. Все осложняется еще и тем, что они принадлежат к особому типу частиц, которые называются энионами и обладают необходимыми математическими свойствами.

Как же выглядит вычисление? Сначала создаются пары энионов и размещаются на одной линии (рис. на стр. 30). Каждая пара напоминает частицу и соответствующую античастицу, созданные

электрических или магнитных полей. Поскольку небольшие перемещения нитей не изменяют топологическую структуру косы, она хорошо защищена от внешних возмущений. Использовать энионы для выполнения вычислений таким способом предложил в 1997 г. выпускник МФТИ, старший научный сотрудник Института теоретической физики им. Ландау Алексей Юрьевич Китаев. Сейчас он работает в Сизтле в качестве приглашенного сотрудника компании *Microsoft*.

В конце 1988 г. Майкл Фридман (Michael H. Freedman) читал в Гарвардском университете лекции о возможности использования кван-

вычислениям на обычном компьютере. Такие же простые решения существуют и для других трудных задач, имеющих большое практическое значение.

Энионы

Итак, топологический квантовый компьютер сплетает мировые линии, меняя частицы местами. В классической физике, если взять два электрона в положениях А и В и поменять их местами, конечное состояние будет таким же, как начальное, поскольку электроны абсолютно одинаковы. В квантовой механике все не так просто: свойства частицы описываются волновой функцией, которая определяет вероятность нахождения частицы в различных точках пространства, вероятность получения того или иного значения при измерении ее скорости и т.д. Например, наиболее вероятно, что частица будет найдена в области, где ее волновая функция имеет большую амплитуду.

Пара электронов описывается объединенной волновой функцией, и когда два электрона меняются местами, результирующая объединенная волновая функция равна исходной со знаком минус: пики волны становятся впадинами и наоборот, но амплитуда колебаний остается неизменной. Фактически, все измеряемые характеристики электронов остаются прежними, если рассматривать частицы по отдельности. Однако после перестановки они будут по-другому взаимодействовать с другими электронами. Сумма двух волн имеет высокую амплитуду там, где пики одной волны совпадают с пиками другой (конструктивная интерференция), и низкую амплитуду там, где они складываются с впадинами (деструктивная интерференция). Изменение фазы одной из волн на противоположную (умножение на минус единицу) меняет местами ее пики и впадины и, таким образом, конструктивная интерференция,

На первый взгляд, топологический квантовый компьютер вообще не похож на компьютер

из чистой энергии. Затем в строго определенной последовательности пары смежных энионов перемещаются друг вокруг друга. Мировые линии энионов (их траектории в пространстве-времени) образуют нити, которые сплетаются в косу. Квантовое вычисление заключено в структуре косы: конечные состояния энионов, содержащие результаты вычисления, определяются сплетением нитей и не зависят от

той топологии для вычислений. Его идеи, опубликованные в 1998 г., основаны на открытии связи математических величин, известных как инварианты узлов, с квантовой физикой двухмерной поверхности, изменяющейся во времени. Если создать такую систему и выполнить соответствующее измерение, можно автоматически вычислить приближенное значение инварианта узла, не прибегая к длительным

ОБЗОР: КВАНТОВЫЕ КОСЫ

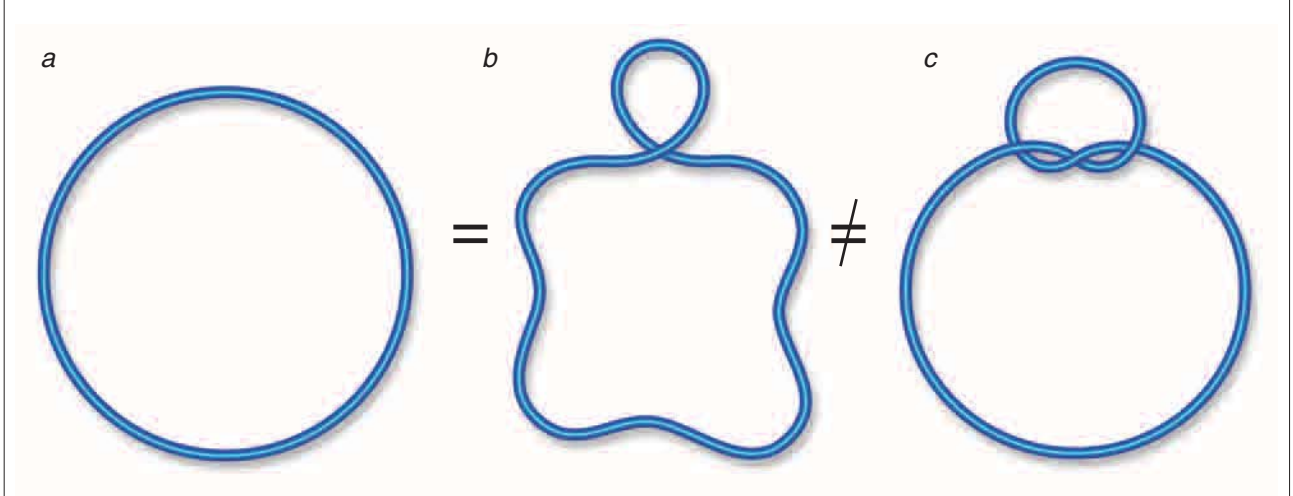
■ Квантовые компьютеры будут намного мощнее классических, но только в том случае, если разработчикам удастся защитить их внутренности от внешних помех. На современном уровне развития технологии классическими методами невозможно добиться требуемой низкой частоты ошибок.

■ Альтернативный подход заключается в создании топологического квантового компьютера, в котором для проведения вычислений используется принципиально иная физическая система. Поскольку ее топологические свойства устойчивы к малым возмущениям, она хорошо защищена от влияния посторонних воздействий окружающей среды.

■ Для топологических квантовых вычислений предполагается использовать энионы — квазичастицы, существующие в двухмерном мире. Недавние эксперименты показали, что они возникают в планарных полупроводниковых структурах, охлажденных почти до абсолютного нуля и помещенных в сильное магнитное поле.

ТОПОЛОГИЯ И УЗЛЫ

Топология замкнутого контура (a) остается неизменной, когда ему придают другую форму (b). Тем не менее, она отличается от топологии петли с завязанным на ней узлом (c). Чтобы получить последнюю, необходимо разрезать нить, завязать узел и снова соединить концы. Топология петли нечувствительна к возмущениям, которые вызывают только перемещения нити.



дающая яркое пятно в интерференционной картине, становится деструктивной (темное пятно).

Объединенная волновая функция меняет знак при перестановке не только электронов, но также протонов, нейтронов и вообще любых фермионов. А вот волновая функция бозонов при перестановке двух частиц не меняется (можно сказать, что их волновые функции умножаются на плюс единицу).

Согласно уравнениям квантовой механики, частицы в трех измерениях могут быть только фермионами или бозонами. В двухмерном пространстве есть и другая возможность: множителем может быть комплексная фаза, которую можно рассматривать как угол. Ноль градусов соответствует плюс единице; 180 градусов — минус единице, промежуточные величины углов — комплексные числа. Например, 90 градусов соответствует i , т.е. квадратному корню из минус единицы. Умножение волновой функции на фазу никак не влияет на измеряемые свойства индивидуальных частиц, потому что они определяются исключительно амплитудами

колебаний волн. Однако при взаимодействии двух комплексных волн может измениться фаза.

Частицы, которые при перестановке приобретают комплексную фазу, называются энионами (от англ. *any* — любой), потому что для них может возникать любая комплексная фаза, а не только плюс или минус единица. Однако частицы определенного типа всегда приобретают одну и ту же фазу.

Электроны во Флатландии

Энионы существуют в двухмерном плоском мире квазичастиц. Между двумя специально изготовленными полупроводниковыми пластинами из арсенида галлия образуется газ из электронов, которые могут свободно перемещаться только в плоскости контакта. В сильных поперечных магнитных полях при чрезвычайно низких температурах проявляются необычные квантовые свойства этих систем электронов, называемых двухмерными электронными газами. Например, наблюдается дробный квантовый эффект Холла, когда возбуждения в электронном газе ведут себя как

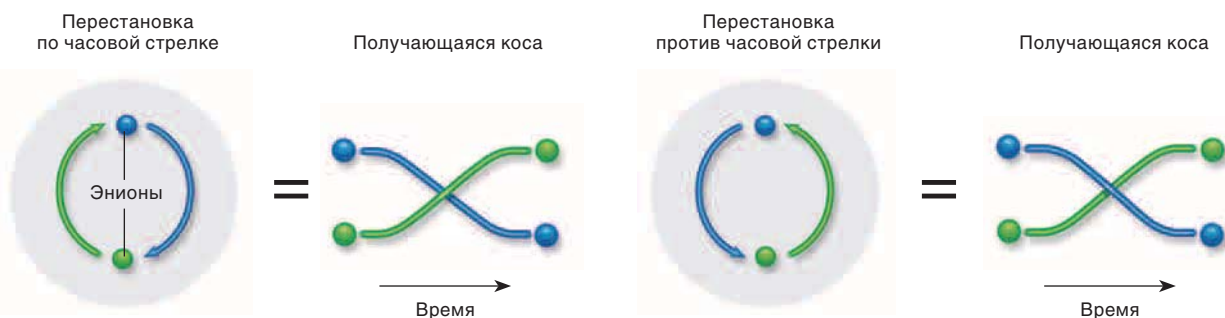
частицы с зарядом, равным дробной части заряда электрона. Другие возбуждения переносят единицы магнитного потока, который становится как бы их неотъемлемой частью. В 2005 г. Владимир Голдман (Vladimir J. Goldman), Фернандо Камино (Fernando E. Camino) и Вэй Чжоу (Wei Zhou) из Университета Стони Брук заявили, что им удалось получить прямое экспериментальное подтверждение того, что квазичастицы, наблюдаемые в дробном квантовом состоянии Холла, являются энионами. Так был сделан первый шаг к топологическим квантовым вычислениям. Однако некоторые исследователи продолжают поиск других подтверждений энионной природы квазичастиц, т.к. результаты, полученные Голдманом и его коллегами, могли быть проявлением специфических неквантовых эффектов.

При перестановке частиц в двух измерениях фаза, приобретаемая волновой функцией, зависит от того, движутся они по часовой стрелке или против нее. Эти два направления топологически различны, потому что невозможно ▶

ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ КВАНТОВЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

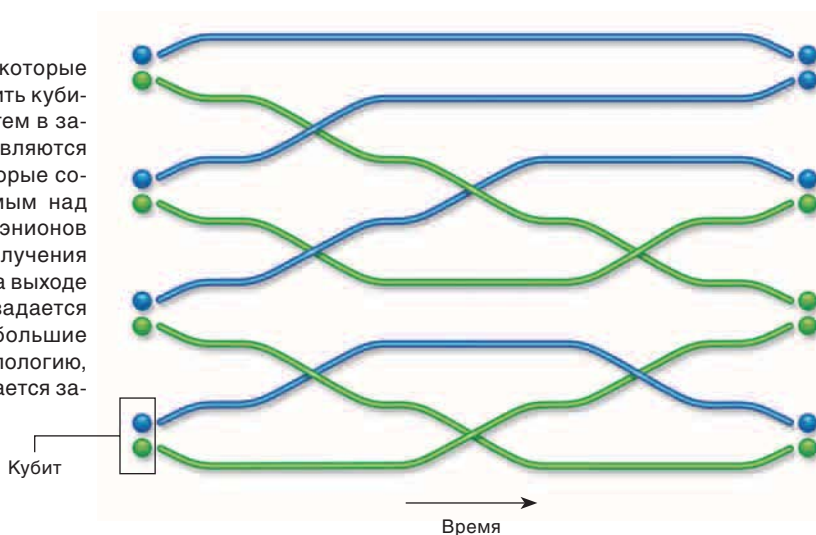
КОСЫ

Все возможные переплетения мировых линий (траекторий в пространстве-времени) множества энионов образуются в результате их перестановки по часовой стрелке или против нее.



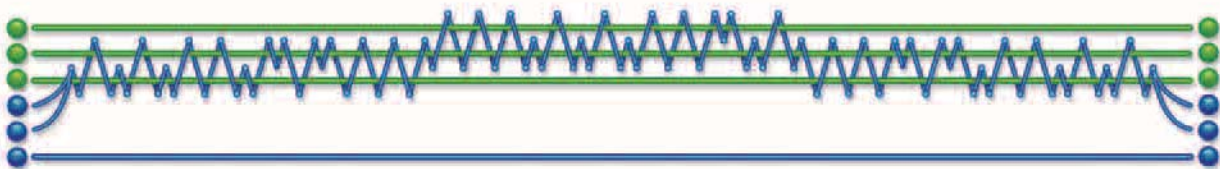
ВЫЧИСЛЕНИЯ

Сначала создаются пары энионов, которые выстраиваются в ряд, чтобы изобразить кубиты, участвующие в вычислениях. Затем в заданной последовательности осуществляются перестановки смежных энионов, которые соответствуют операциям, выполняемым над кубитами. Наконец, пары смежных энионов объединяются и измеряются для получения результатов вычисления. Результат на выходе зависит от топологии косы, которая задается проведенными манипуляциями. Небольшие возмущения энионов не изменяют топологию, поэтому процесс вычисления оказывается защищенным от обычных помех.



ПОСТРОЕНИЕ ЛОГИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА

Логический элемент *CNOT* («управляемое НЕ») реализуется сложной косой из шести энионов. Из двух кубитов на входе получается два новых кубита на выходе. Кубиты представлены тройками (зеленые и синие) так называемых энионов Фибоначчи. Для упрощения расчетов при проектировании логического элемента было решено энионы одной тройки оставить неподвижными и перемещать вокруг них две частицы из другой тройки. Получающийся элемент *CNOT* должен работать с точностью до $2 \cdot 10^{-3}$.



плавной деформацией превратить перемещение по часовой стрелке в перемещение против часовой стрелки, не допуская пересечения траекторий и столкновения частиц.

Для создания топологического квантового компьютера требуется преодолеть еще одну трудность:

энионы должны быть неабелевыми, иными словами, должен быть важен порядок, в котором обмениваются частицы. Допустим, три идентичных эниона расположены на одной линии в положениях *A*, *B* и *C*. Сначала переставим энионы в положениях *A* и *B*, затем поме-

няем местами энионы, расположенные теперь на местах *B* и *C*. Результатом будет первоначальная волновая функция, умноженная на некоторый множитель. Теперь предположим, что сначала переставляются энионы *B* и *C*, а затем — *A* и *B*. Если в результате получается

волновая функция, умноженная на тот же самый множитель, то энионы называют абелевыми. Если же множители зависят от порядка обмена, то это значит, что энионы неабелевы. (Неабелевы свойства возникают потому, что для таких энионов множитель волновой функции представляет собой матрицу чисел, а результат умножения двух матриц зависит от порядка, в котором их перемножают.)

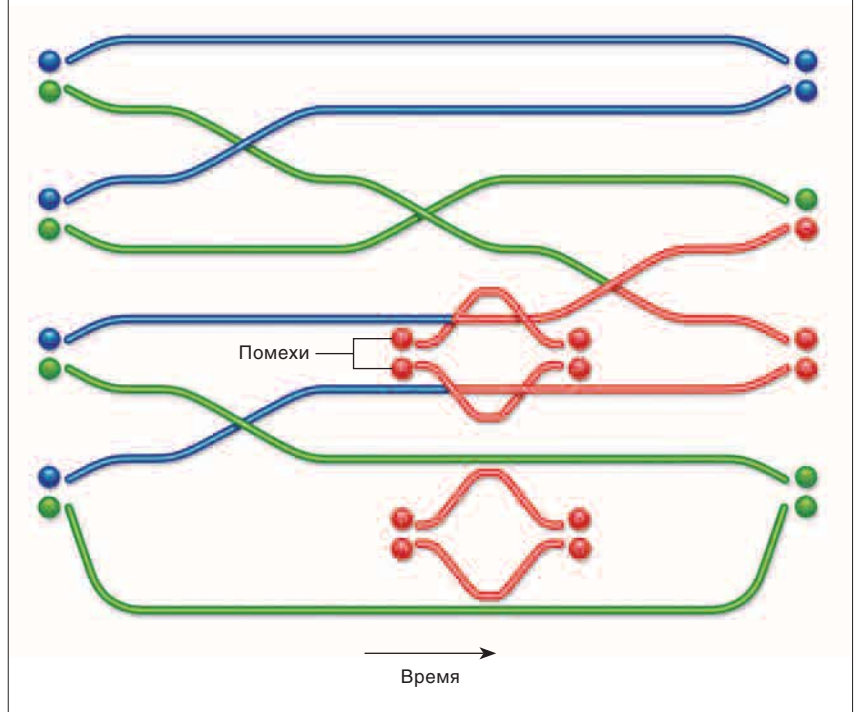
Группа Голдмана экспериментировала с абелевыми энионами. Однако у теоретиков есть все основания полагать, что определенные квазичастицы в дробном квантовом эффекте Холла действительно неабелевы. Чтобы это проверить, необходимо провести новые эксперименты. Один из них был предложен Фридманом и Санкар Дас Сармой (Sankar Das Sarma) из Университета штата Мэриленд в Колледж Парке и Четаном Найяком (Chetan Nayak) из *Microsoft*. Важные уточнения по его постановке высказали Эди Штерн (Ady Stern) из Института Вейцмана в Израиле и Бертран Гальперин (Bertrand Halperin) из Гарвардского университета. Другой эксперимент был разработан Китаевым, Парсой Бондерсоном (Parsa Bonderson) из Калифорнийского технологического института и Кириллом Штенгелем (Kirill Shtengel).

Косы и логические элементы

Располагая неабелевыми энионами, можно создать физическое представление группы кос — математической структуры, описывающей все способы, которыми можно переплести данный набор нитей. Любую косу можно построить из ряда элементарных операций, в которых две смежные нити перемещаются либо по часовой стрелке, либо против нее. Каждая возможная последовательность манипуляций с энионами соответствует косе и наоборот. Кроме того, каждой косе соответствует сложная матрица, получающаяся

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ СЛУЧАЙНЫХ ОШИБОК

Ошибки в топологических расчетах возникают тогда, когда тепловые флуктуации приводят к появлению паразитных пар энионов, которые вплетаются в косу (красные линии) и искажают процесс вычисления. Однако вероятность такого вмешательства убывает по экспоненте с увеличением расстояния между энионами. Частоту ошибок можно свести к минимуму, удерживая участвующие в вычислении энионы достаточно далеко друг от друга (нижняя пара).



в результате объединения всех матриц перестановки энионов.

Теперь рассмотрим, как косы связаны с квантовыми вычислениями. Состояние обычного компьютера характеризуется совокупностью состояний всех его битов — последовательностью нулей и единиц в регистрах. Точно так же состояние

рая умножается на объединенную волновую функцию всех кубитов. Сходство с тем, что происходит в топологическом квантовом компьютере, очевидно: в данном случае это матрица, относящаяся к конкретной косе, соответствующей последовательности манипуляций с энионами. Таким образом, операции

Чем выше требуемая точность вычислений, тем больше переплетений в косе

квантового компьютера определяется состоянием всех его кубитов. В топологическом квантовом компьютере кубиты можно представить группами энионов. В квантовом компьютере процесс перехода от начального состояния к конечному описывается матрицей, кото-

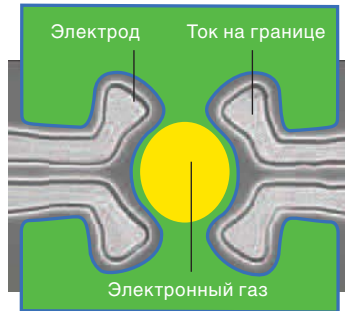
с энионами приводят к квантовому вычислению.

Сможет ли топологический квантовый компьютер выполнить любое вычисление, доступное обычному квантовому компьютеру? Фридман, Майкл Ларсен (Michael Larsen) из Университета штата Индиана ▶

ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ ОШИБКИ

ДЕТЕКТОР ЭНИОНОВ

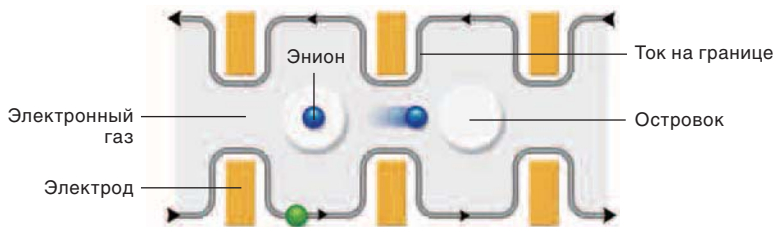
Владимир Голдман использовал устройство, изображенное на цветной микрофотографии, чтобы показать, что некоторые квазичастицы (возбуждения в квантовом состоянии Холла) ведут себя как энионы. Прибор был охлажден до 10 мК и помещен в сильное магнитное поле. Между четырьмя электродами образовался двухмерный электронный газ с различными типами квазичастиц в желтой и зеленой областях. Характеристики пограничного тока свидетельствовали о том, что квазичастицы на желтом островке были энионами.



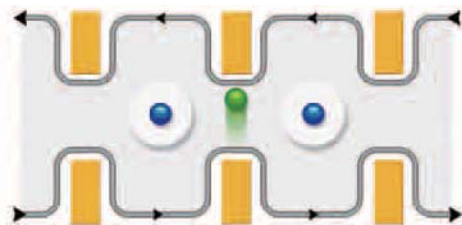
ЛОГИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ «НЕ»

Рассмотрим логический элемент «НЕ», основанный на дробном квантовом состоянии Холла с энионами, имеющими заряд, равный одной четверти заряда электрона. Электроды создают два островка, на которых удерживаются энионы. Ток течет вдоль границы, но при подходящих условиях может туннелировать поперек узких перешейков.

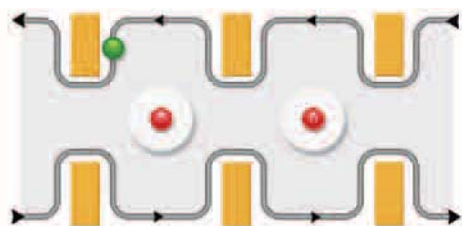
1. Сначала на один островок помещают два эниона (синие), затем прикладывают напряжение, чтобы переместить один из них на другой островок. Полученная пара энионов представляет собой кубит в исходном состоянии, которое можно определить, измеряя ток, текущий по ближайшей границе.



2. Для изменения состояния кубита на противоположное (операция «НЕ»), прикладывают напряжение, чтобы заставить один пограничный энион (зеленый) туннелировать поперек устройства.



3. Переход пограничного эниона изменяет соотношение фаз двух энионов на островках так, что кубит переходит в противоположное (красное) состояние.



и Чженгхан Ванг (Zhenghan Wang) из *Microsoft* доказали в 2002 г., что топологический квантовый компьютер действительно может моделировать любое вычисление стандартного квантового компьютера, но только приблизительно. Тем не менее, всегда можно найти такую косу, которая моделирует требуемое вычисление с любой заданной точностью. Правда, чем выше требуемая точность, тем больше число переплетений в косе. К счастью, число переплетений растет очень медленно, и достигнуть достаточно высокой точности не так уж трудно. Однако в упомянутом доказательстве не указано, как определить, какая именно коса соответствует нужному вычислению, — это зависит от конкретной структуры топологического квантового компьютера и, в частности, от разновидности используемых энионов и их связи с элементарными кубитами.

В 2005 г. проблемой обнаружения кос, выполняющих определенные вычисления, занимались Николас Боунстил (Nicholas E. Bonesteel) вместе с коллегами из Университета штата Флорида и лаборатории *Lucent Technologies* фирмы *Bell Labs*. Группа наглядно показала, как построить логический элемент «управляемое НЕ» (*CNOT*), работающий с точностью до $2 \cdot 10^{-3}$, с помощью косы из шести энионов. У элемента *CNOT* два входа: бит управления и целевой бит. Если бит управления равен единице, то целевой бит изменяется с нуля на единицу и наоборот. В противном случае биты не меняются. Действуя на кубиты с помощью сети из элементов *CNOT* и операции умножения отдельных кубитов на комплексную фазу, можно построить любое вычисление. Это лишний раз подтверждает, что топологические квантовые компьютеры могут справиться с любым квантовым вычислением.

Может ли топологический компьютер оказаться мощнее обычного квантового? К сожалению,

нет. Фридман, Китаев и Ванг доказали, что работу топологического квантового компьютера можно эффективно моделировать с произвольной точностью на обычном квантовом компьютере, а значит, все, что может вычислить топологический квантовый компьютер, под силу и обычному квантовому. Наверняка все достаточно развитые вычислительные системы, использующие квантовые средства, обладают в точности одинаковыми вычислительными возможностями. (Аналогичный тезис для клас-

требуется выяснить, полностью ли аннигилируют пары (как истинные античастицы), или после их взаимодействия остаются заряды и потоки, показывающие, как состояния были изменены при переплетении по сравнению с точным отношением античастиц, с которого начался процесс. К сожалению, нельзя сказать, что топологический компьютер полностью нечувствителен к ошибкам. Главный их источник — тепловые колебания в материале подложки, при которых может возникнуть дополнитель-

циально убывает с понижением температуры и увеличением размеров устройства. Экспоненциальная зависимость — существенный вклад топологии, не имеющий аналогов в традиционных подходах к квантовым вычислениям.

Именно чрезвычайно низкая частота ошибок делает топологические квантовые вычисления столь привлекательными. Кроме того, технология создания устройств с дробным квантовым эффектом Холла хорошо отработана при производстве микросхем. Единственное необычное условие — чрезвычайно низкие температуры (порядка 1 мК), при которых должны работать устройства, чтобы волшебные квазичастицы оставались устойчивыми.

Если неабелевы энионы действительно существуют, топологические квантовые компьютеры вполне могут опередить обычных квантовых собратьев в гонке от отдельных кубитов и логических элементов к полностью укомплектованным машинам, по праву заслуживающим названия «компьютер». ■

По оценкам разработчиков, частота ошибок в логическом элементе «HE» не будет превышать 10^{-30}

сических вычислений был предложен Алонсо Черчем (Alonzo Church) и Аланом Тьюрингом (Alan Turing) в 30-х гг. XX в.)

Введи частицу — получишь результат

Для создания работоспособного топологического квантового компьютера необходимо продумать механизм установки исходного значения кубитов, а также процедуру считывания получаемых результатов. На этапе инициализации создаются пары квазичастиц. Проблема в том, чтобы узнать, какая их разновидность была создана. Обычно к созданным парам направляют пробные энионы, а затем измеряют, как они изменились, т.к. это зависит от типа частиц, вблизи которых они прошли. (Если пробный энион изменился, то он не будет полностью аннигилировать со своим партнером.) Пары энионов неподходящего типа следует просто отбрасывать.

На этапе считывания также производится измерение состояний энионов. Если они далеко отстоят друг от друга, то провести измерение невозможно: энионы должны поступать парами. Грубо говоря,

ная пара энионов. Она влетает в косу вычисления, а в конце снова аннигилирует (стр. 31). К счастью, процесс тепловой генерации подавляется низкой температурой, при которой работает топологический компьютер. Кроме того, вероятность возникновения ошибки убывает по экспоненте по мере увеличения расстояния, проходимого нарушителями. Таким образом, можно достигнуть любой необходимой степени точности, создавая достаточно большой компьютер и удерживая работающие энионы в ходе плетения кос вполне обособленными.

Пока мы стоим у колыбели топологических квантовых вычислений. Существование основных рабочих элементов, неабелевых энионов, еще не демонстрировалось, кроме того, требуется создать базовые логические элементы. В упомянутом выше эксперименте Фридман, Дас Сарма и Найяк могли бы достичь обеих целей: если бы их энионы действительно оказались неабелевыми, устройство могло бы выполнять логическую операцию «HE» над состоянием кубита. По оценкам исследователей, частота ошибок не будет превышать 10^{-30} , поскольку вероятность их возникновения экспонен-

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Topologically Protected Qubits from a Possible Non-Abelian Fractional Quantum Hall State. Sankar Das Sarma, Michael Freedman and Chetan Nayak in Physical Review Letters, Vol. 94, pages 166802-1-166802-4; April 29, 2005.
- Devices Based on the Fractional Quantum Hall Effect May Fulfill the Promise of Quantum Computing. Charles Day in Physics Today, Vol. 58, pages 21–24; October 2005.
- Anyon There? David Lindley in Physical Review Focus, Vol. 16, Story 14; November 2, 2005. <http://focus.aps.org/story/v16/st14>
- Topological Quantum Computation. John Preskill. Lecture notes available at www.theory.caltech.edu/~preskill/ph219/topological.pdf

and citizens:

...and you a need election of a subject of the
...your thoughts must be employed in
...to a more distinct expression of the
...number of those out of whom I had

...you at the same time, than in the
...the relation which binds a duty of
...influenced by no diminution of feel
...action that the step is compatible with

...acceptance of and continuance of the
...vision of duty and to a degree you
...realizes which I was not at liberty to
...the pressure to the last election, but

...that the state of your concerns
...sincerely and am persuaded that your
...determination to retire

...expressions with which I feel
...with good intentions, with the
...capable that unconscious in the
...attended the matter to the
...necessary to me as it will be
...relation to believe that while I

...looking forward to the moment
...and my mind of that sort of
...Dance with which it has supported me

Джеффри Шварц

ЛИЦО ПРЕЗИДЕНТА

С помощью компьютерного моделирования судебный антрополог восстановил облик юного Джорджа Вашингтона

В юности он срубил вишневое дерево и признался в этом своему отцу, а в зрелом возрасте носил деревянные вставные челюсти — вот все, что я знал раньше о Джордже Вашингтоне (1732–1799). Однако недавно я выяснил, что первый президент США никогда не рубил деревья и не надевал зубных протезов из дерева. Впрочем, это были лишь первые шаги на пути к истине.

Мое погружение в историю Америки началось, когда Джеймс Рис (James C. Rees), директор Маунт-Вернона (родовое имение Вашингтона), предложил мне восстановить внешность первого президента по его портретам и скульптурам. Осенью 2006 г. три фигуры в натуральную величину должны были украсить экспозицию нового образовательного центра при Маунт-Верноне. Предполагалось, что первая будет изображать девятнадцатилетнего Вашингтона, начинающего землемера. Вторая фигура должна напомнить о суровой зиме 1777 г., когда на сорок пятом году жизни Вашингтон во главе Континентальной армии готовился напасть на англичан, занявших Филадельфию. И, наконец, третья фигура должна была олицетворять Вашингтона в возрасте 57 лет, который отказался от королевского титула и 30 апреля 1789 г. принял присягу как первый президент нового объединенного государства.

Раньше я изучал кости первых гоминоидов и реконструировал предполагаемый облик наших предков, а работа в должности судебного антрополога при коронере позволила накопить солидный опыт. Однако мне сразу сказали, что прах Вашингтона не будет потревожен, и исследовать его скелет мне не удастся. Как же я мог приступить к воссозданию внешности человека, не имея ни одной его косточки? И все же работа слишком заинтересовала меня, чтобы отказаться от нее.

Исходные данные

В числе материалов, с которыми мне предстояло работать, была мраморная статуя Вашингтона в полный рост, его бюст и прижизненный слепок лица, выполненные французским придворным скульптором Жаном Антуаном Гудоном (Jean-Antoine Houdon, 1741–1828), который впервые посетил Маунт-Вернон в 1785 г., когда будущему президенту было 53 года. В моем распоряжении было несколько портретов, написанных Гильбертом Стюартом (Gilbert Stuart), Чарльзом Пилом (Charles Wilson Peale) и его сыном, Рембрандтом Пилом (Rembrandt Peale), а также Джоном Трамбаллом (John Trumbull). Не менее ценными свидетельствами стали зубные

определить изгиб челюстной кости. Затем следовало бы оценить, насколько сократилась костная масса челюстей Вашингтона к 53 годам (возможно, наиболее близкое приближение к состоянию в возрасте 57 лет), и постепенно «восполнять» ее, получая модель все более молодого президента.

Как только я понял, что работать придется в трехмерном цифровом пространстве, мне пришла мысль обратиться к Содружеству специалистов по пространственному моделированию (*The Partnership for Research in Spatial Modeling, PRISM*) Аризонского университета. Мне уже доводилось видеть потрясающие результаты сотрудничества скульпторов, антропологов, инженеров и программистов. Я ознакомил с проектом директора лаборатории *PRISM* Аншамана Раздана (Anshuman Razdan), который любезно согласился помочь мне.

Я решил начать со скульптур Гудона, изображающих 53-летнего Вашингтона. Французский скульптор славился своей дотошностью и в работе использовал кронциркули, которыми промерил будущего президента с головы до пят. И хотя студия Гудона и все его записи были уничтожены во время Французской революции, многие эксперты убеж-

Как же я мог приступить к воссозданию облика человека, не имея ни одной его косточки?

протезы и сохранившиеся предметы туалета пожилого Вашингтона.

Мне нужно было как-то объединить имеющийся материал и придумать, как с ним работать. Например, после трехмерного сканирования прижизненного слепка, бюста и статуи я мог бы сравнить их и проверить, насколько точно они выполнены. Цифровой образ сохранившихся зубных протезов можно было бы «вставить» в компьютерную модель головы, чтобы

определить физическую точность бюста и статуи Вашингтона, который просил скульптора не увеличивать масштаб изваяний вопреки традициям того времени.

Чтобы определить степень точности, коллеги Раздана сняли трехмерные цифровые образы бюста и прижизненного слепка, а затем сравнили их. Сходство оказалось практически идеальным: скульптурные изображения отличались не больше, чем на статистически ▶

незначимые 0,3 мм. Не осталось никаких сомнений в том, что статуя и бюст передают точные черты лица Вашингтона. Но удивительное соответствие прижизненного слепка и лицевой части бюста почему-то беспокоило меня. Согласно документам, сохранившимся в Маунт-Верноне, Гудон сделал бюст за несколько дней до того, как снял прижизненный слепок. Соответственно изображения должны сильнее отличаться, поскольку бюст был сделан не со слепка. И все же глаза, нос, асимметричный подбородок, немного оттопыренные мочки ушей и складки на лбу абсолютно идентичны. В конце концов я пришел к выводу, что Гудон создавал лицевую часть бюста не вручную. Добавив глаза прижизненному слепку (в ходе его изготовления глаза прикрывают), он сделал маску и вдавил ее в еще сырую скульптуру, создав таким образом лицо. Мне пришлось принять на веру, что остальная часть головы Вашингтона тщательно обмерялась кронциркулем.

Когда мы разбирались с результатами цифрового сканирования, я решил поближе познакомиться с портретами Вашингтона и встретился с Эллен Майлз (Ellen G. Miles), хранителем живописи и скульптуры в Смитсоновской национальной портретной галерее. Она сразу предупредила меня, что нужно скептически относиться не только к копиям портретов Вашингтона, но

и к оригиналам. Например, на картине, написанной Стюартом в конце XVIII в., лицо первого президента легко узнаваемо. Вероятно, художник скопировал его с полотна, которое сейчас висит в Бостонском музее изящных искусств. (Зеркальное изображение этого портрета можно найти на долларовой купюре.) Но руки Вашингтона Стюарт явно писал со своих собственных, а тело — с трех моделей, позировавших художнику.

На портрете, написанном Трамбаллом в 1792 г., напротив, более точно изображено тело Вашингтона. Чтобы проиллюстрировать роль восприятия художника, Эллен показала мне портреты, выполненные Пилом и его 17-летним сыном Рембрантом в 1795 г., когда 60-летний президент позировал им одновременно. Отец нарисовал Вашингтона, своего старого друга и соратника, немного пухлым, розовощеким пожилым человеком. Юноша же изобразил морщинистого, усталого старика. Таким образом, у нас есть как минимум четыре совершенно разных портрета шестидесятилетнего Вашингтона.

Если портреты вводили в заблуждение, то зубные протезы внесли еще большую путаницу. Я быстро установил, что, вопреки мифу, Вашингтон не носил деревянных зубных протезов. В XVIII в. пластины протеза, в которых крепились зубы людей или животных, изготавливали

из слоновой кости или клыков гиппопотама. Спустя какое-то время на поверхности пластин образовывались тонкие трещины. За годы еды, питья и курения они становились значительно темнее, чем окружающая эмаль. Очевидно, кто-то по ошибке принял такой протез за деревянный, и родилась забавная легенда.

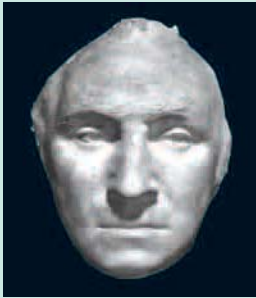
На самом деле, когда Гудон посетил Маунт-Вернон, Вашингтон был уже практически совсем беззубым. Он начал терять зубы в возрасте 20 лет, а к 53 годам у него оставалось только два нижних. Скорее всего первый президент страдал прогрессирующим периодонтальным заболеванием, которое усугублялось его пристрастием к грецким орехам и привычкой их разгрызать. Когда у человека выпадает зуб, кость, в которой он находился, рассасывается, и в этом месте изменяется высота челюсти. Утрата большинства зубов приводит к сильному изменению размеров и формы челюстей (особенно нижней). Поэтому мне предстояло определить состояние челюстей и ротовой полости Вашингтона в возрасте 53 лет, а затем постепенно «добавлять» зубы и костную ткань, восстанавливая облик его челюстей, соответствующий 45-летнему и 19-летнему возрасту.

Сначала мне предстояло разыскать все уцелевшие зубные протезы, которые Вашингтон носил, когда ему было за пятьдесят. Оказалось, что он был похоронен с самым последним зубным протезом. У меня была возможность исследовать нижнюю пластину вставной челюсти, изготовленную дантистом Джозефом Гринвудом (Joseph Greenwood) в 1789 г. и хранящуюся в Нью-Йоркской медицинской академии, а также нижнюю часть протеза, изготовленного тем же врачом в 1795 г. после того, как Вашингтон потерял последний зуб. Верхняя часть исчезла после ограбления хранилищ Смитсоновской галереи. Единственным полным протезом,

ОБЗОР: ВОТ ОН КАКОЙ, ДЖОРДЖ ВАШИНГТОН

- С помощью компьютерного моделирования американский антрополог воссоздал облик первого президента США. Три фигуры, изображающие Джорджа Вашингтона в возрасте 19, 45 и 57 лет, украсят интерьер нового образовательного центра в Маунт-Верноне.
- Поскольку было решено не тревожить останки первого президента Америки, для воссоздания его внешности использовались статуи, портреты, прижизненный слепок лица, зубные протезы и одежда.
- Специальная компьютерная программа пространственного моделирования позволила объединить и проанализировать имеющиеся свидетельства, воссоздав три достоверных изображения Джорджа Вашингтона.

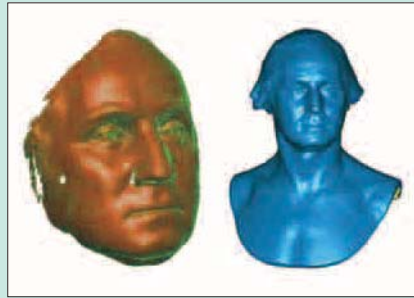
НАЧАЛО РЕКОНСТРУКЦИИ



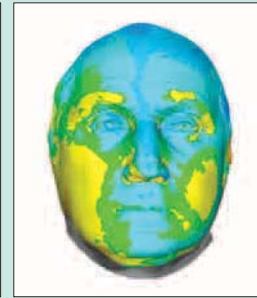
Прижизненный слепок, 53 года, Гудон



Бюст, 53 года, Гудон



Сканирование прижизненного слепка Сканирование бюста

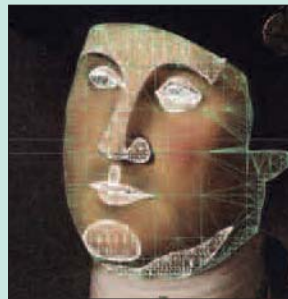


Сравнение

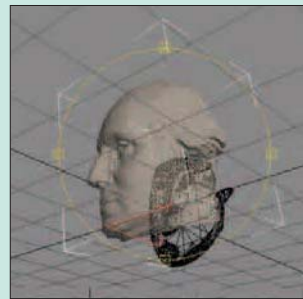
Чтобы убедиться в достоверности прижизненного слепка и бюста, выполненных Жаном Антуаном Гудоном в 1785 г., когда Вашингтону было 53 года, ученые создали и сопоставили их трехмерные цифровые модели. Оказалось, что они различаются не более, чем на 0,3 мм. Желтым цветом обозначены области максимальных различий. Наиболее важные области глаз, носа и рта практически идентичны.



Портрет, 40 лет, Чарльз Пил



Сканирование портрета



Наложение портрета на бюст



Сравнение портрета и бюста

Восстанавливая облик юного Вашингтона, исследователи обратились к самому раннему портрету, написанному Чарльзом Пилом в 1772 г., когда будущему президенту было 40 лет. Сопоставление результатов цифрового сканирования показало, что на картине расстояние от носа до подбородка больше, чем на бюсте. Изменение формы лица, скорее всего, было обусловлено тем, что к 53 годам Джордж Вашингтон потерял большую часть зубов. Проанализировав наблюдаемое различие, ученые осуществили экстраполяцию моделей бюста и прижизненного слепка и воссоздали внешность юного президента.

который я смог обнаружить, была таинственная пара челюстей из коллекции Маунт-Вернона, которая была обнаружена в одном из сундуков супруги Вашингтона Марты. У нее не было вставных зубов, так что они, скорее всего, принадлежали ее мужу. Неизвестно, кто и когда сделал этот протез, но мне удалось выяснить, что он был изготовлен между 1789 и 1795 гг.

Ученые установили, что основанием протеза служила свинцовая пластинка. В качестве верхних зубов использовались передние резцы лошади, осла или коровы, а в качестве нижних — выпавшие человеческие зубы и одна искусственная деталь, возможно, вырезанная из

ореха. К моему удивлению, некоторые зубы на нижней пластине оказались выпавшими верхними зубами человека. Как ни странно, этот протез был совершенно непригоден для ношения. Поверхности свинцовых пластинок были совершенно плоские и не совпадали по форме с беззубой десной. Более того, пружинки, скреплявшие пластины и прижимавшие их к деснам, находились сзади, а не сбоку, и должны были выталкивать протез наружу при открывании рта. Такой протез мог пригодиться только для того, чтобы заполнять ротовую полость Вашингтона, когда он позировал художникам. Однако с его помощью можно было установить примерный

размер и форму челюстей президента. Промерив имеющиеся протезы, я приступил к созданию модели ротовой полости Вашингтона. Позже мне предстояло совместить ее с результатами сканирования прижизненного слепка и бюста, выполненных Гудоном.

Голова в сборе

Мэтью Точери (Matthew Tocheri) из PRISM помог мне измерить бюст и узнать ширину нижней челюсти в том месте, где она крепится к основанию черепа. Так получилось, что Бренда Бейкер (Brenda Baker), антрополог из Университета штата Аризона, собрала небольшую коллекцию скелетов британских ▶

PIERPONT MORGAN LIBRARY/ART RESOURCE, NY (life mask); MOUNT VERNON LADIES' ASSOCIATION (bust); WASHINGTON-CUSTIS-LEE COLLECTION, WASHINGTON AND LEE UNIVERSITY (Peggy portrait)

солдат, погибших во время войны с французами и индейцами. У одного из них нижняя челюсть была почти такого же размера, что и у Вашингтона. Мы отсканировали ее, и полученный цифровой образ совместили с компьютерной моделью бюста, немного увеличив масштаб, чтобы добиться соответствия. Затем мы «состарили» подбородок, убрав в модели костную ткань и все зубы кроме второго левого премоляра нижней челюсти. Далее мы вставили цифровой образ зубных протезов из Маунт-Вернона в ротовую полость компьютерного Вашингтона и подогнали под них форму нижней челюсти, а также расположение и высоту сохранившегося премоляра. Для окончательной доводки мы использовали цифровую копию нижней части протеза, сделанного Гринвудом в 1789 г., которую наложили на уже имеющуюся трехмерную модель челюсти. Нам также пришлось немного изменить форму подбородка, чтобы сделать его похожим на широкий, скошенный подбородок Вашингтона. Используя программу, которую Джереми Хансен (Jeremy Hansen) из PRISM написал специально для нашего проекта, мы подправили заднюю часть нижней челюсти, чтобы она соответствовала прижизненному слепку, и смоделировали перераспределение

ОБ АВТОРЕ

Джеффри Шварц (Jeffrey H. Schwartz), профессор антропологии, истории и философии науки Питтсбургского университета, член Всемирной академии искусства и науки, сотрудничает с Американским музеем естественной истории и Музеем истории естествознания Карнеги, а также занимает должность судебного антрополога при коронере округа Аллегейни штата Пенсильвания. В сферу научных интересов Шварца входят новые направления эволюционной теории, биология развития видов и сравнительная скелетная морфология.

костной массы, вызванное тридцатью годами постепенной потери зубов. С верхней челюстью пришлось повозиться, поскольку верхняя половина протеза, изготовленного Гринвудом в 1795 г., была украдена. Однако в Национальном зубоорточном музее сохранилась копия этого протеза. Однако в свое время ее тщательно вычистили, чтобы она смотрелась лучше, чем нелицепри-

они соответствовали образу лица с учетом толщины мягких покровов черепа. Поскольку у сорокапятилетнего Вашингтона в нижней челюсти было больше костной массы, чем у пятидесятирехлетнего, ее задняя часть была лучше очерчена. В модели, соответствующей девятнадцати годам, мы сделали ее еще более заметной. На всем лице я смягчил морщины, удалил складки, увели-

Единственным полным зубным протезом, который удалось найти, были таинственные вставные челюсти из Маунт-Вернона

ятный оригинал. К счастью, оригинал и копия однажды были сфотографированы вместе, поэтому мы смогли создать пространственный образ последней и, зная ее размеры, вычислить по фотографии размеры оригинала. Так была получена трехмерная модель верхней половины протеза, под которую мы подогнали оцифрованную верхнюю челюсть солдата с учетом размеров лицевой части бюста.

Реконструкцию внешности Вашингтона в возрасте сорока пяти и девятнадцати лет я начал с изучения портретов, сделанных Чарльзом Пилом, когда будущему президенту было сорок и сорок семь лет. Расстояние от носа до подбородка на этих полотнах было немного больше, чем на полученной нами модели и на более поздних портретах. Дело в том, что передние зубы обычно выпадают позже коренных, за счет чего немного увеличивается высота нижней части лица, еще не утратившей костную массу.

Вместе с Хансеном мы «омолодили» модель пятидесятирехлетнего президента. Поскольку подбородки на портретах сорока- и сорокасемилетнего Вашингтона более симметричны, чем на прижизненном слепке и более поздних картинах, нам пришлось подправить форму нижней челюсти. Затем мы подогнали размеры челюстей так, чтобы

жил жировую прослойку на щеках (с возрастом она теряется) и немного укоротил нос и уши (хрящи в них растут на протяжении всей жизни). Мне также пришлось разгладить кожу под подбородком и на шее. Когда головы были готовы, мы занялись воссозданием тела первого президента.

Реконструкция тела

И скульптуры, и портреты Вашингтона изображают человека, несколько отличающегося телосложением от наших современников. По традиции, распространенной среди знатных английских семей в XVIII в., тело юного Джорджа затягивали в корсет вплоть до пятилетнего возраста. В результате он стал похож фигурой на балетного танцора: отведенные назад плечи, грудь колесом, плоская спина, длинные покатые плечи, подчеркнутый изгиб поясницы и выступающий живот. Разумеется, сформировавшаяся в детстве осанка сохранялась до конца жизни. Не удивительно, что знатные англичане, взирающие с портретов XVIII в., так отчетливо отличаются от господ, запечатленных в более поздние столетия.

Вашингтон был необычайно высок для своего времени (его рост составлял 188 см) и имел репутацию хорошего танцора и прекрасного всадника. По свидетельству

ЗАВЕРШЕНИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ЛИЦА

Изучение зубных протезов Вашингтона помогло завершить реконструкцию внешнего вида его головы в 45 и 19 лет. Потеря зуба ведет к утрате костной ткани, что способствует существенному изменению размера и формы челюсти. Установив форму челюсти 53-летнего президента, ученые смогли добавить в модель зубы и костную ткань, рассчитав таким образом, как выглядела челюсть в более молодые годы.

Сначала исследователи сняли цифровой трехмерный образ практически здоровой челюсти (a), которая по размеру соответствовала челюсти Вашингтона, и совместили его с компьютерной моделью бюста. Затем они удалили костную ткань и все зубы, кроме единственного премоляра, оставшегося у Вашингтона к 57 годам (b). В получившуюся модель вставили цифровое изображение протеза верхней челюсти (c) и подобрали объем костной массы, а также длину премоляра. Затем ученые добавили костную массу и окончательно смоделировали челюсть (d), получив нижнюю часть лица 45- и 19-летнего Вашингтона.

a Результат объемного сканирования подходящей по размеру челюсти

b «Состаренная» программой челюсть

c Зубные протезы из Маунт-Вернона (свинцовые пластины; сверху — зубы лошади и коровы, снизу — человека)

d Модель протезов из Маунт-Вернона, совмещенная с «состаренной» нижней челюстью

Цифровая модель лицевой части бюста

Нижняя челюсть, смоделированная по снятым с бюста Вашингтона меркам на основе реальной челюсти подходящего размера

Верхняя челюсть, воссозданная по точной копии одного из зубных протезов Вашингтона

Результат подгонки «состаренной» челюсти (отмечено зеленым) с учетом толщины мягких тканей, толщина которых показана фиолетовыми линиями

57 лет

45 лет

19 лет

очевидцев, он крепко обхватывал ногами бока лошади и поэтому держался в седле гораздо увереннее многих своих товарищей. Как мне удалось выяснить, дело здесь не только в том, что у первого президента были длинные ноги: в XVIII в. лошади были мельче, чем представители более крупных пород,

выведенных лишь в XIX веке. Судя по портретам, у Вашингтона были довольно широкие бедра, что тоже должно было помогать ему при верховой езде.

Я обратился к смотрителям Маунт-Вернонского музея с просьбой показать мне одеяния первого президента, ведь его современники

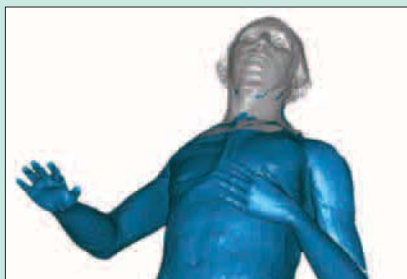
придерживались облегающего стиля (особенно плотно одежда сидела на талии, ногах и бедрах). Но к моему сожалению не осталось ни шляп, ни сапог, ни даже перчаток Вашингтона — ничего, что помогло бы установить размер и форму головы, рук или ног. И все же мне удалось разыскать в различных ▶

ВОССОЗДАНИЕ ТЕЛА

В 19 лет будущий отец Америки был высоким, мускулистым и худощавым. На экспозиции в Маунт-Верноне фигура юноши будет одета в костюм, который обычно носили землемеры того времени. Темно-рыжие волосы будут собраны сзади в «конский хвост»



Рост Вашингтона (188 см) наиболее точно передает статуя, сделанная Гудоном в 1785 г. (слева). На портреты полагаться нельзя: наиболее известное изображение Вашингтона работы Стюарта (справа) частично срисовано с других моделей



Для соединения головы с телом пришлось «сшить» края двух пространственных моделей, состоявшие из множества маленьких треугольников



45 лет (верхом на лошади)

57 лет

До пяти лет тело юного Вашингтона затягивали в корсет, чтобы сформировать благородную фигуру с отведенными назад плечами и выступающей грудной клеткой.



Судя по одежде из коллекции Маунт-Вернона, Вашингтон был несколько полнее, чем изобразил скульптор



Картина Трамбалла 1797 г. свидетельствует о том, что у Вашингтона были длинные ноги, которыми он крепко обхватывал бока лошади (Вашингтон на темном коне справа)



19 лет

музеях кое-что из его одежды. Я тщательно снял мерки со всех имеющихся предметов туалета и примерил их к статуе, которая была сделана Гудоном и установлена в здании конгресса в Ричмонде, штат Вирджиния. Дело в том, что это изваяние изображает довольно худого человека, что не согласуется с описаниями и портретами. Вместе с Джином Купером (Gene Cooper) и Скоттом ван Ноутом (Scott Van Note) из PRISM мы сопоставили длину рук и ног, а также ширину плеч статуи с размерами оказавшейся в нашем распоряжении одежды. Выполнив пространственное сканирование скульптуры, мы подкорректировали масштаб полученной трехмерной модели, чтобы она соответствовала размеру одежды. Затем я воссоздал форму тела 19-, 45- и 57-летнего Вашингтона, руководствуясь общими знаниями о том, как с возрастом меняется тело человека.

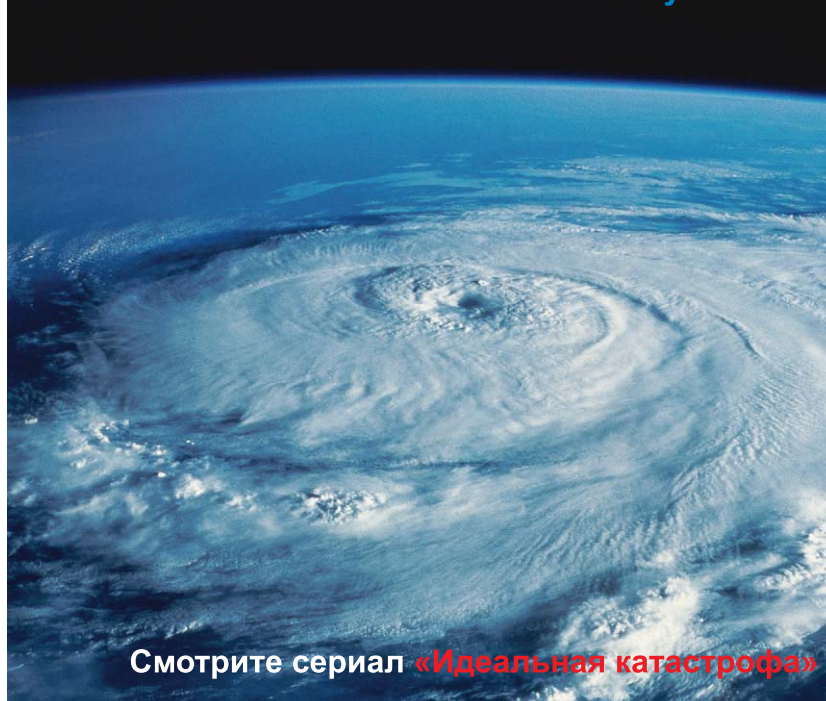
Согласно историческим документам в последние годы жизни президент часто болел и сильно исхудал. Об этом свидетельствует и размер

его одежды. К воссозданию фигуры 45-летнего Вашингтона нужно было подойти по-иному. Портреты, выполненные Пилом-старшим, когда Джорджу было 40 и 47 лет, показывают, что генерал был более полным в области живота и бедер. Вероятно, в те годы зубные боли стали настолько сильными, что Вашингтону пришлось перейти на более мягкие продукты, содержащие больше жиров. (Во время сражения под Трентоном в 1776 г. Вашингтон так страдал от зубной боли, что личный врач полководца заказал кузнецу набор клещей, чтобы удалять больные зубы.) Итак, фигуру, соответствующую 45 годам, я решил сделать более полной, особенно в области живота и бедер. В 19 лет Вашингтон целыми днями переносил топографическое оборудование с места на место и, скорее всего, был тощим и жилистым. Наконец, мы дополнили пространственные модели тел цифровыми образами голов, по которым калифорнийская компания *Kreysler and Associates* изготовила пенопластовые макеты. Они

пересекли всю страну и оказались в нью-йоркской студии EIS, где их глиняные копии были приделаны к телам из плотного пенопласта, покрытого защитным слоем и фрагментами искусственных мягких тканей, имитирующих упругость настоящего тела. Вместе со скульптором Стюартом Вильямсоном (Stuart Williamson), консультантом студии EIS, мы придали глиняным лицам первого президента неповторимое выражение. Художница Сью Дей (Sue Day) раскрасила их восковые копии, сделав их очень реалистичными: бледный подбородок, румяные щеки и серовато-голубые глаза, описанные Гильбертом Стюартом. На первые две фигуры Вашингтона мы надели рыжие парики с собранными сзади волосами. Волосы 57-летнего Вашингтона мы сделали белыми, т.к. в день инаугурации они были напудрены.

Я надеюсь, что благодаря нашей работе образ первого президента США перестанет ассоциироваться с черно-белой плоской фигурой на долларовой бумажке. *

В ЭПИЦЕНТРЕ ИДЕАЛЬНОЙ КАТАСТРОФЫ ВМЕСТЕ С Discovery Channel



Смотрите сериал «Идеальная катастрофа»

Что считать идеальной катастрофой? Discovery Channel утверждает, что даже гибель «Титаника», унесшая жизни 1513 человек, не может идти ни в какое сравнение с тем, что способна совершить природа. Только за последнее десятилетие число пострадавших в природных катаклизмах достигло 2 млрд. человек. Но все события последних лет наводят на мысль: идеальная катастрофа еще впереди.

Частота и сила природных катаклизмов ощутимо увеличивается с каждым десятилетием. Если в период с 1985 по 1995 г. число погибших в природных катастрофах составило 640 тыс. человек, то за последнее десятилетие увеличилось до 900 тыс.!. Наивно полагать, что все это происходит где-то далеко и нас не касается. Три четверти населения планеты живут сегодня в опасных регионах, пострадавших за последние 25 лет от каких-либо природных катаклизмов. 20–25% территории России с населением более 20 млн. человек приходится на сейсмически опасные зоны. Кроме того, россияне сталкиваются со смерчами, ураганами, наводнениями, извержениями вулканов и даже цунами.

Discovery Channel дает своим зрителям возможность взглянуть на катастрофу изнутри, понять ее причины и природные механизмы, узнать о предвестниках катаклизмов.

**по понедельникам в 22.00
на Discovery Channel!**



Джозеф Ромм и Эндрю Фрэнк

гибридные АВТОМОБИЛИ

Автомобили с комбинированным двигателем способны существенно сократить выбросы двуоксида углерода в атмосферу при условии, что электростанции также сократят объем вредных выбросов

Не успели автолюбители оценить автомобили с гибридным силовым агрегатом, а на горизонте уже появились еще более «зеленые» гибриды

Когда летом 2005 г. цены на бензин достигли уровня \$0,66 за литр, заметно вырос интерес покупателей к автомобилям с гибридными двигателями, имеющими под капотом обычный силовой агрегат и электромотор, работающий от аккумулятора. Средний американский автомобиль потребляет 12 л топлива на 100 км, показатели же *Toyota Prius hybrid* в два раза лучше (хоть и зависят от манеры вождения ее владельца). Продажи гибридов в период 2004–2005 гг. удвоились и достигли уровня 200 тыс., к 2010 г. составят уже 0,5 млн, а к 2020 г. все производители перейдут на выпуск автомобилей с гибридным силовым агрегатом.

Развитие технологий приведет не только к созданию экономичного силового агрегата, но и позволит автомобилистам воспользоваться дополнительными услугами. Они смогут по дешевому ночному тарифу заряжать аккумуляторные батареи, просто подключив их к стационарным источникам электрического тока в доме или офисе. Кроме того, такая система восполнения энергии позволит уменьшить объем выброса парниковых газов миллионами транспортных средств. Сегодня для получения энергии на электростанциях сжигается уголь или газ, но уже в ближайшем будущем для ее генерации можно будет использовать экологически чистые источники, такие как ветер и солнце.

Возможно также создание генерирующих систем, в которых двуокись углерода будет накапливаться в подземных хранилищах.

Для того чтобы оценить, насколько перспективны гибридные автомобили, следует оглянуться в прошлое. Вот уже более 100 лет машины приводит в движение двигатель внутреннего сгорания, потребляющий бензин или дизельное топливо. Еще в начале прошлого века появилась идея объединить двигатель внутреннего сгорания и электромотор в единый силовой агрегат, но с ростом мощности первого она была благополучно забыта, тем более что топливо было дешевым и доступным. После энергетического кризиса 70-х гг. XX в. стало ясно, что увеличение экономичности автомобиля предполагает изменение его габаритов, веса и динамики. Спустя некоторое время размеры машин и, соответственно, двигателей стали расти, и лишь стабильное повышение цен на бензин в последние годы заставило американцев задуматься об экономичности их транспортных средств.

Современные гибриды оборудованы электронной системой управления, задающей оптимальный режим работы двигателя внутреннего сгорания и электромотора. Именно благодаря данной системе достигаются высокая экономичность, хорошая динамика и большой запас хода при низком уровне вредных выбросов газа в атмосферу. При малом объеме двигателя внутреннего сгорания высоких динамических характеристик автомобиля можно достичь за счет электромотора, который включается в работу в режиме ускорения или при возрастании нагрузок.

Ford Escape Hybrid и спортивная *Toyota Highlander* демонстрируют прекрасную динамику и имеют высокую экономичность. Безусловно, цена таких машин несколько выше, чем обычных моделей, поскольку они оснащены большой аккумуля-

торной батареей, электрическим мотором и электронной системой управления. В настоящее время увеличение стоимости в зависимости от модели составляет \$3–7 тыс. при среднем значении \$4 тыс. Из-за дополнительного силового агрегата возрастает и вес: для *Honda Accord Hybrid* эта величина составляет 5%. Однако дополнительные затраты частично компенсируются за счет экономии топлива.

Если предположить, что за год автомобиль преодолевает 24 тыс. км при стоимости бензина \$0,6 за литр и при увеличении пробега от 11 до 16 км на 1 л, экономический эффект за этот период составит около \$ 600. Таким образом, цены на гибриды с учетом налоговых льгот позволят компенсировать дополнительные вложения только через несколько лет, учитывая, что единственным преимуществом такой машины остается расход топлива.

Таким образом, срок окупаемости автомобиля при постоянном подорожании бензина сокращается. Безусловно, при расширении производства и совершенствовании технологии изготовления аккумуляторов цены начнут снижаться. Подтверждением тому может служить уменьшение вдвое с 1997 по 2004 г. стоимости никелевых аккумуляторов, вес которых также сократился в два раза. В то же время именно стоимость батареи увеличивает на 50% цену автомобиля.

Типы гибридных автомобилей

Гибриды делятся на типы в зависимости от степени экономичности их двигателей. «Полный гибрид» сочетает в себе все технические достижения, «средний» не столь совершенен, но стоит дешевле, а в «микро» двигатель просто отключается при остановках.

Силовая установка полного гибрида *Toyota Prius* позволяет экономить топливо более чем на 60%. Такой высокий показатель достигается ▶



Дизель-электрический гибрид-прототип *Ford Reflex* может оказаться более экономичным, чем гибридный автомобиль с бензиновым двигателем. Этот прототип может проехать 100 км на одном галлоне дизельного топлива, а в это же время солнечные батареи будут заряжать его батарею

в основном за счет преобразования в электричество энергии торможения, просто теряющейся у других типов транспортных средств. При ускорении электрическая энергия батареи создает в электромоторе крутящий момент, а при торможении он работает в режиме генерации и заряжает батарею.

Перемещение в городе предполагает большое количество ускорений, торможений, и потому обеспечивает хорошие условия для генерации. То же самое происходит, когда автомобиль едет по дороге с перепадами уровней высот дорожного покрытия. В современных гибридах до 50% энергии торможения преобразуется в электрическую. По мере развития технологий и совершенствования конструкции аккумулятора данный показатель будет улучшаться. Двигатель внутреннего сгорания эффективен в

узком диапазоне нагрузок и скоростей. С учетом того, что электромотор при возрастании нагрузки создает дополнительный момент тяги, инженеры выбирают для двигателя внутреннего сгорания оптимальный режим работы и тем самым достигается его экономичность.

Toyota и *Ford* используют для полных гибридов двигателя, работающие по циклу Аткинсона, а не традиционные, в которых за основу взят цикл Отто. Современные двигатели Аткинсона оснащены электронным управлением и системой регулировки клапанов, вследствие чего создаются оптимальные условия сгорания топлива в цилиндрах. Прежде инженеры редко использовали такой тип двигателя, поскольку его экономичность имела своей причиной малую мощность. В гибридах этот недостаток компенсируется электромотором. При движении по магистрали двигатель Аткинсона в сочетании с системой регенерации тормозной энергии в электричество более экономичен, чем дизельный силовой агрегат. В обычных транспортных средствах энергия двигателя расходуется на работу кондиционера, усилителя руля, водяную и масляную помпу и т.д. В гибриде все системы обеспечиваются электрическим приводом и через управляющий процессор работают от энергии аккумулятора.

Еще одним достоинством полного гибрида стало то, что его электромотор и батарея обладают мощностью, достаточной для того, чтобы движение происходило при выключенном двигателе внутреннего сгорания. На малых скоростях и в пробках бензин (или другое топливо) не расходуется, работает электричество.

Средний гибрид, такой как *Honda Insight*, *Civic* и новый *Accord*, экономит до 35% топлива. В дополнение к функции «старт-стоп», в режиме ускорения дополнительную тягу дает электромотор, а часть энергии

торможения преобразуется в электрическую. Микрогибрид, или старт-стоп-гибрид, представленный компанией *General Motors*, при остановке автомобиля выключает двигатель. Для того чтобы он заработал вновь, достаточно просто нажать на педаль акселератора. В таком автомобиле нет силового электромотора, электрическим приводом обеспечено только вспомогательное оборудование, что дает экономию на 10% только в городском цикле.

Гибрид с подзарядкой

Существенным преимуществом автомобиля с комбинированным двигателем (гибридной силовой установкой) стало уменьшение объема двуокиси углерода, попадающей в атмосферу. Он может работать как в электрическом, так и в гибридном цикле, обеспечивая высокую экономичность. Автовладелец получает дешевое топливо, зарядив электрическую батарею от стационарной электрической розетки. При работе в гибридном цикле машина потребляет немного топлива, а дополнительное оборудование не слишком увеличивает его стоимость по сравнению с его гибридным собратом. По мере того, как будет расти мощность аккумуляторов и электромоторов, а цены на них будут падать, размер двигателя внутреннего сгорания будет уменьшаться.

При современном уровне цен на топливо 1 км пути обходится автовладельцу в среднем в 7,5 центов. Стоимость такого же пути для автомобиля с комбинированным двигателем составит 3 цента при цене киловатт-часа 8 центов. Поскольку в среднем американцы проезжают за день менее 40 км, использование автомобиля с комбинированным двигателем и запасом хода на электрической тяге в 32 км позволит снизить объем потребляемого бензина на 60%.

По мере роста мощности батареи и электродвигателя традиционный ▶

КАК ГИБРИД ЭКОНОМИТ ТОПЛИВО

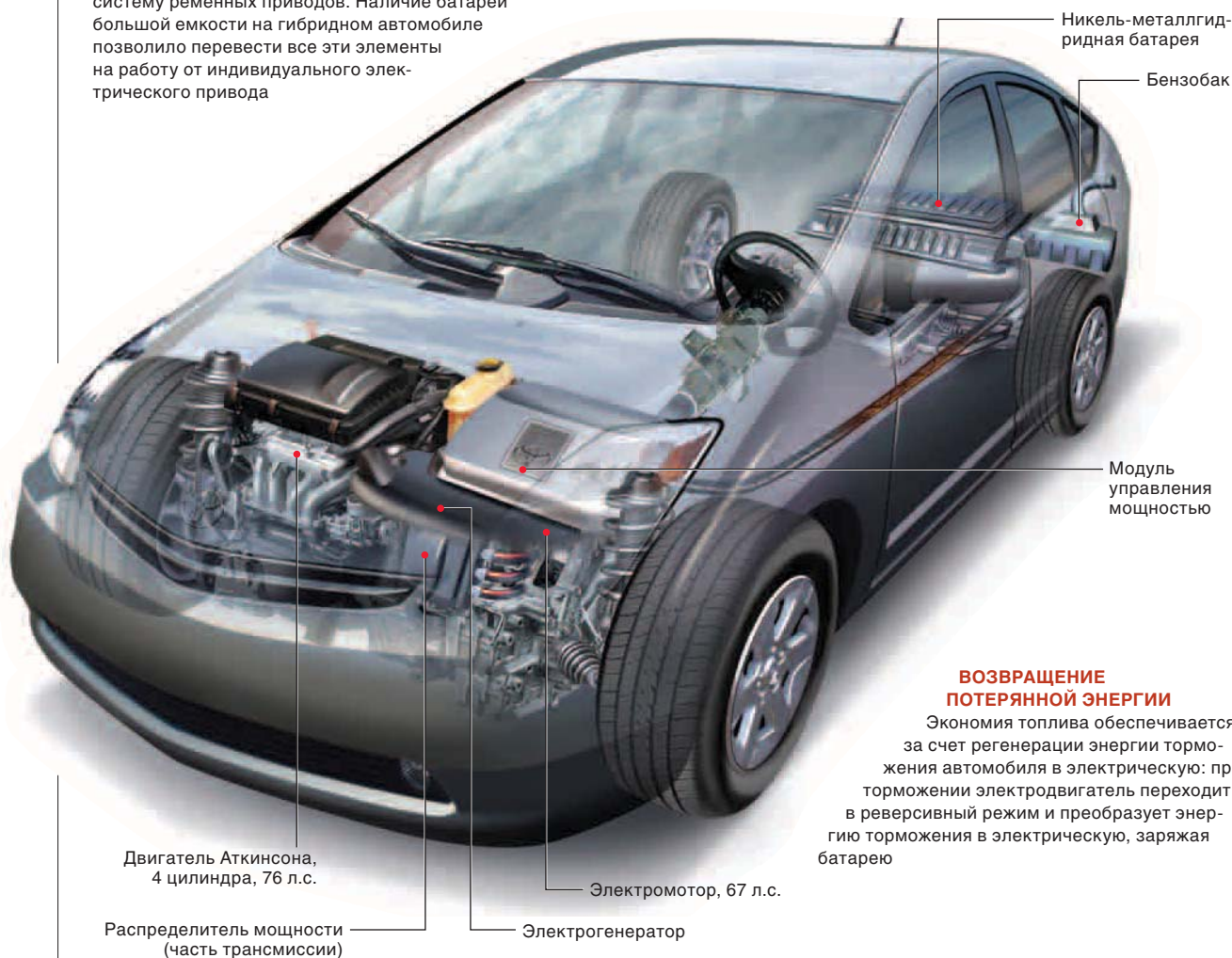
Гибридный автомобиль с силовым агрегатом на базе двигателя внутреннего сгорания и электромотора позволяет экономить топливо за счет внедрения передовых технологий. Полный гибрид *Toyota Prius* дает возможность на 60% снизить затраты на топливо, в то время как средний гибрид — на 35%, а минигибрид — на 10%

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ

В обычных автомобилях кондиционер, усилитель руля, водяная и масляная помпа, а также вентилятор системы охлаждения получают энергию от коленчатого вала двигателя через систему ременных приводов. Наличие батареи большой емкости на гибридном автомобиле позволило перевести все эти элементы на работу от индивидуального электрического привода

ОТКЛЮЧЕНИЕ ДВИГАТЕЛЯ НА СВЕТОФОРАХ

Эффективность двигателя внутреннего сгорания низка, когда он работает на холостом ходу или в режиме малых нагрузок в городском цикле движения. В гибридных автомобилях этот недостаток компенсируется за счет отключения двигателя внутреннего сгорания при остановке автомобиля, когда основную нагрузку берет на себя электромотор



ВОЗВРАЩЕНИЕ ПОТЕРЯННОЙ ЭНЕРГИИ

Экономия топлива обеспечивается за счет регенерации энергии торможения автомобиля в электрическую: при торможении электродвигатель переходит в реверсивный режим и преобразует энергию торможения в электрическую, заряжая батарею

ИЗМЕНЕНИЕ ТИПА ДВИГАТЕЛЯ

В отдельных случаях разработчики отказываются от двигателя внутреннего сгорания, работающего по циклу Отто, и отдают предпочтение циклу Аткинсона. Такой двигатель имеет высокие показатели экономичности при невысокой мощности, что компенсируется электромотором

УМЕНЬШЕНИЕ ОБЪЕМА ДВИГАТЕЛЯ

Эффективная работа двигателя внутреннего сгорания возможна в узком диапазоне скоростей и нагрузок, поэтому конструкторы вынуждены увеличивать объем двигателя, чтобы обеспечить хорошую динамику автомобиля. Гибридный силовой агрегат позволяет уменьшить объем и мощность двигателя внутреннего сгорания и компенсировать потери за счет электромотора

В БУДУЩЕМ: АВТОМОБИЛЬ С КОМБИНИРОВАННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Следующее поколение гибридных автомобилей будет оснащено батареей высокой емкости и системой подзарядки от стационарных сетей электроснабжения. Более половины дневного пробега среднего американского транспортного средства будет обеспечивать энергия батарей, полученная из дешевых и экологически чистых источников



Началом создания гибридных автомобилей с функцией подзарядки от стационарной сети можно считать 2005 г., когда компания *Mercedes-Benz* представила *Hybrid Sprinter Van*. Открыв дверь, вы видите розетку, которая обеспечит подзарядку батареи в ночное время суток

двигатель внутреннего сгорания будет уменьшаться в размерах. Исследователи из Калифорнийского университета в Дэвисе сконструировали прототип с запасом хода на электрической тяге 96 км, при этом размеры двигателя внутреннего сгорания уменьшились вдвое.

ОБ АВТОРАХ

Джозеф Ромм (Joseph Romm) и **Эндрю Фрэнк** (Andrew A. Frank). Доктор физических наук Массачусетского технологического института Ромм сотрудничает с компанией *Capital E*. Фрэнк — профессор нескольких американских университетов, в сферу его научных интересов входят технологии разработки гибридных автомобилей с функцией подзарядки от стационарной электрической сети.

Созданные в университете девять автомобилей сейчас проходят испытания. В 2005 г. компания *DaimlerChrysler* представила прототип автомобиля с комбинированным двигателем на базе микроавтобуса *Mercedes-Benz Sprinter Van*. В качестве силовых агрегатов были использованы двигатель внутреннего сгорания мощностью 143 л. с. и электромотор в 120 л. с. Заряда аккумулятора хватает на 32 км пробега, потребляет такой автомобиль на 40% меньше бензина и обладает хорошей динамикой. В настоящее время эксплуатируются лишь несколько подобных машин.

По мере совершенствования технологий производства аккумуляторных батарей потребление бензина комбинированными гибридными автомобилями будет сокращаться. В городском цикле движения такая машина с полным баком топлива и заряженной батареей сможет преодолеть 960–1600 км. Размер силовых агрегатов зависит от стиля езды владельца. По результатам проведенных исследований запас хода на электрической тяге в 32 км должен удовлетворить основную массу потребителей, а если потребуется преодолевать значительные расстояния, то можно купить автомобиль с батареей большой емкости. Дополнительные средства, потраченные на покупку автомобиля с комбинированным гибридом, окупятся дешевым топливом. Не стоит забывать, что с каждым годом стоимость электрического силового агрегата становится все меньше. Электрохимический источник энергии большой мощности стоит сегодня \$10 тыс., но уже в ближайшем будущем появятся батареи на основе никеля или лития стоимостью менее \$3 тыс., способные обеспечить пробег автомобиля более 32 км. Со временем ресурс источников питания составит 15 лет или 240 тыс. км пробега.

Другим перспективным направлением стало использование этано-

ла, вырабатываемого из биомассы, в качестве автомобильного топлива. В этом случае потребуется небольшая модификация двигателя внутреннего сгорания, т.к. потребляемое им топливо на 15% состоит из бензина и на 85% из метанола. Чтобы автомобилю с таким двигателем преодолеть 800 км пути, потребуется 4,5 л бензина и 22 л этанола. Использование этанолового топлива избавит мир от нефтяной зависимости.

Комбинированные гибридные автомобили могут быть наиболее удачным вариантом с точки зрения использования энергии из возобновляемых источников, но для развития водородной энергетики требуются колоссальные средства.

И все это делается для того, чтобы электрический ток в топливных батареях генерировался водородом, приводящий электромотор в действие. В итоге от энергии, полученной из возобновляемых источников и истраченной на производство водорода, только 20–25% дойдет до колес автомобиля. С учетом циклов зарядки и разрядки комбинированного гибридного автомобиля от первоначального количества энергии, израсходованной на эти процессы, в поступательное движение будет преобразовано 75–80% энергии. Из приведенных расчетов видно, что такая машина в 3–4 раза более эффективно расходует энергию, нежели ее водородный собрат.

Когда мировая транспортная система вместо нефти начнет использовать другие источники энергии, то на дорогах появятся комбинированные гибриды, питающиеся электричеством из возобновляемых источников, и топливом, полученным из биомассы. Дальнейшее совершенствование автомобильных аккумуляторов может привести к тому, что мы будем ездить на электромобилях. Только жизнь покажет, какие технологические новшества найдут разумное применение. ■

МОДЕЛЬНЫЙ РЯД ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ В 2006 ГОДУ

В городских и спортивных автомобилях-внедорожниках и пикапах в качестве силового агрегата используется гибридный двигатель. Какова возможная экономия топлива? Расчеты проведены, исходя из того, что машины проезжали 45% пути по автостраде, а остальную часть — в городе. Годовой пробег составил 24 тыс. км при стоимости 1 л бензина \$0,55

	Производитель Модель, тип	Силовой агрегат	Расход топлива л/100 км	Пробег, км	Стоимость топлива за год, \$	Выброс CO за год, т
	<i>Honda Insight</i> двухместная	3 цилиндра, 1 л автоматическая плавно- регулируемая перемен- ная трансмиссия (АППТ)	4,2	850	670	3,5
	<i>Honda Civic</i> гибрид	4 цилиндра, 1,3 л	4,7	880	750	3,9
	<i>Toyota Prius</i>	4 цилиндра, 1,3 л АППТ	4,3	944	680	3,5
	<i>Honda Accord</i> <i>Hybrid</i>	6 цилиндров, 3 л автоматическая транс- миссия	8,4	688	1340	6,8
	<i>Ford Escape Hybrid</i>	4 цилиндра, 2,3 л АППТ полный привод	7,6	672	1210	6,2
	<i>Lexus RX400H</i>	6 цилиндров, 3,3 л АППТ полный привод	8,1	720	1290	6,6
	<i>Mercury Mariner</i> <i>Hybrid</i>	4 цилиндра, 2,3 л АППТ полный привод	7,6	672	1210	6,2
	<i>Toyota Highlander</i> <i>Hybrid</i>	6 цилиндров, 3,3 л АППТ полный привод	8,1	800	1290	6,6
	<i>Chevrolet Silverado</i> <i>Hybrid</i>	8 цилиндров, 5,3 л автоматическая транс- миссия, полный привод	12,4	720	1970	9,9
	<i>GMC Sierra Hybrid</i>	8 цилиндров, 5,3 л автоматическая транс- миссия, полный привод	12,4	720	1970	9,9

Данные Агентства по охране окружающей среды (EPA). Реальные показатели эффективности могут быть ниже

A man in a white shirt and dark tie is looking down at a slide rule. He has a pen holder in his shirt pocket containing several pens. The background is a plain, light gray.

Клифф Столл

СКАЗ

**О ЛОГАРИФМИЧЕСКОЙ
ЛИНЕЙКЕ**

До появления электронных калькуляторов в мире инженерных и научных расчетов безраздельно царствовала логарифмическая линейка

Два поколения назад верными признаками инженера были белая рубашка, узкий галстук и логарифмическая линейка. Сейчас рубашка с галстуком превратились в футболку с рекламой какой-нибудь компьютерной фирмы, а место логарифмической линейки занял электронный калькулятор.

Вплоть до 1970-х гг. логарифмические линейки были так же распространены, как пишущие машинки и мимеографы. Ловким движением рук инженер без труда перемножал и делил любые числа и извлекал квадратные и кубические корни. Чуть больше усилий требовалось для вычисления пропорций, синусов и тангенсов.

Украшенная дюжиной функциональных шкал, логарифмическая линейка символизировала сокровенные тайны науки. На самом деле, основную работу выполняли всего две шкалы, поскольку практически все технические расчеты сводились к умножению и делению. Пианисту для игры требуется вся клавиатура, а вот инженеру редко приходилось пользоваться всеми шкалами на его (почти никогда ее) логарифмической линейке.

Одни щеголяли логарифмическими линейками из красного дерева и самшита, другие предпочитали слоновую кость, алюминий и стекловолокно. Автор этой статьи и другие скряги пользовались устройствами из пластика. Однако принцип действия и дорогих, и дешевых моделей был основан на логарифмах.

Рождение логарифмической линейки

Логарифмы были изобретены шотландским математиком Джоном Непером (1550–1617) в 1614 г. Его «Канон о логарифмах» начинался так: «Осознав, что в математике нет ничего более скучного и утомительного, чем умножение, деление, извлечение квадратных и кубических корней, и что названные операции являются бесполезной тратой времени и неиссякаемым источником неуловимых ошибок, я решил найти простое и надежное средство, чтобы избавиться от них». Сейчас в это трудно поверить, но логарифмы, головная боль старшеклассников, были придуманы для того, чтобы облегчить нам жизнь. Наверняка наши правнуки удивятся, когда узнают, что компьютеры были созданы с той же благородной целью.

Так как же работают логарифмы Непера? Слово изобретателю: «Отбросьте числа, произведение, частное или корень которых необходимо найти, и возьмите вместо них такие, которые дадут тот же результат после сложения, вычитания и деления на два и на три». Иными словами, используя логарифмы, умножение можно упростить до сложения, деление превратить в вычитание, а извлечение квадратного и кубического корней — в деление на два и на три соответственно. Например, чтобы перемножить числа 3,8 и 6,61, определим с помощью таблицы и сложим их логарифмы: $0,58+0,82=1,4$. Теперь найдем в таблице число, логарифм которого равен полученной сумме, и получим почти точное значение искомого произведения: 25,12. И никаких ошибок!

Математики быстро приспособили изобретение Непера для ускорения вычислений. Используя логарифмы, немецкий астроном Иоганн Кеплер еще в начале XVII в. рассчитал орбиту Марса. Кто знает, может быть, без их помощи он никогда не открыл бы три закона небесной механики. Выдающийся английский математик Генри Бриггс (Henry Briggs) специально посетил Шотландию, чтобы встретиться с Непером: «Милорд,

я отправился в это долгое путешествие лишь для того, чтобы лично познакомиться с вами и узнать, что натолкнуло вас на мысль о самом полезном для астрономии математическом инструменте... Поражаюсь, почему никто не изобрел его раньше, ведь теперь, когда мы знаем о нем, он кажется таким простым». Вскоре Непер, которого Бриггс считал гениальным, изобрел десятичную точку и вычислительные стержни (палочки Непера), а также заложил основы интегрального и дифференциального счисления.

Непер упростил многие вычислительные задачи, но для их решения приходилось всегда иметь под рукой таблицы логарифмов. Однако в 1620 г. лондонский математик Эдмунд Гюнтер (Edmund Gunter) нанес на линейку шкалу, на которой положение каждого числа было пропорционально его логарифму. Теперь для перемножения двух чисел достаточно было зафиксировать циркулем расстояние от начала шкалы до первого сомножителя, а затем установить одну его ножку на втором сомножителе и считать число, на которое укажет другая ножка.

В 1622 г. англиканский священник Уильям Отред (William Oughtred) положил рядом две подвижные логарифмические шкалы и создал первую в мире логарифмическую линейку. Несколькоми годами позже он изготовил ее круговой аналог. Впрочем, будучи любителем чистой математики, Отред не придавал особого значения своим изобретениям и не стал ничего публиковать о них. В конце концов, истинные математики выводят формулы и ничуть не заботятся об их практическом применении.

В 1630 г. ученик Отреда Ричард Деламайн (Richard Delamain) напечатал статью о круговой логарифмической линейке и объявил себя автором изобретения. Скорее инженер, чем математик, он искренне восхищался портативностью и удобством нового вычислительного устройства. Отред страшно разгневался и вместе со своими соратниками обрушился на Деламайна, ▶



Круговая логарифмическая линейка Генри Саттона была изготовлена приблизительно в 1663 г.

обвиняя его в бесстыдном присвоении чужих заслуг. Скандал затих лишь после смерти Деламейна и не принес ничего хорошего ни одной из сторон.

Никаких логарифмов!

С появлением линейки Отреда логарифмические таблицы стали ненужными: чтобы перемножить два числа, достаточно было просто совместить цифры на шкалах и прочитать ответ. И все же, несмотря на портативность и удобство, логарифмическая линейка получила всеобщее признание только спустя два столетия. В 1850 г. английский математик Август де Морган (Augustus De Morgan) удивлялся консервативности своих коллег: «Многие до сих пор жалуют несколько шиллингов на приобретение карманного устройства, облегчающего сложнейшие вычисления в сотни раз!»

В первой половине XIX в. логарифмическая линейка была доработана и усовершенствована. В 1814 г. Питер Роджет (Peter Roget) представил Королевскому научному обществу линейку с двойной логарифмической

шкалой, которая позволяла без труда вычислять дробные степени и корни (например, возводить 30,6 в степень 2,7). Однако новое изобретение оказалось востребованным только в начале XX в., когда химики и физики начали сталкиваться с более сложной математикой.

Популярности логарифмической линейке принес 19-летний французский артиллерист Амадей Манхейм (Am d e Mannheim). В 1850 г. он выбрал четыре самых полезных шкалы и добавил бегунок (подвижный указатель, помогающий совмещать числовые отметки). В армии устройство сразу прижилось: когда враг атакует и нужно срочно наводить орудие, нет времени считать столбиком.

Долгое время европейские инженеры, геодезисты, химики и астрономы пользовались линейкой Манхейма. После Первой мировой войны ее взяли на вооружение и американские специалисты. Практически все логарифмические линейки были оснащены шкалами для вычисления квадратов, кубов, квадратных и кубических корней, обратных величин, синусов и тангенсов. Наиболее «продвинутые» модели позволяли находить значения гиперболических функций, часто встречающихся в формулах для расчета электрических схем и подвесных мостов. Чтобы повысить точность вычислений, производители применяли увеличительные стекла, наносили на шкалы все более тонкие отметки и изготавливали все более длинные линейки.

В 1921 г. лондонский инженер Отис Кинг (Otis King) свернул полутораметровую логарифмическую шкалу в спираль и нанес ее на поверхность стержня диаметром в один дюйм. Устройство обеспечивало точность до четырех знаков. Еще на поря-

док точнее была линейка Фуллера: цилиндр высотой 30 см обвивала двенадцатиметровая шкала,

оснащенная специальным указателем, который увеличивал ее эффективную длину до 25 м.

Для удобства на шкалах отмечали математические константы, такие как π , $1/4$ и e (основание натурального логарифма), молекулярные веса и периоды полураспада различных химических элементов. Встречались и специализированные шкалы для расчета гидравлических соотношений и перевода дюймов в сантиметры, лошадиных сил в ватты и т.д. К 1945 г. широкое распространение получила двусторонняя линейка с двойной логарифмической шкалой. Оснащенная двумя дюжинами шкал, она позволяла без особого труда возводить числа в произвольную степень, работать с любыми тригонометрическими и гиперболическими функциями. Во время Второй мировой войны для военно-воздушных сил США была придумана логарифмическая линейка общего назначения: в алюминиевый корпус с пластиковым бегунком вставлялись специализированные целлулоидные шкалы для расчета высоты, дальности полета и расхода горючего.

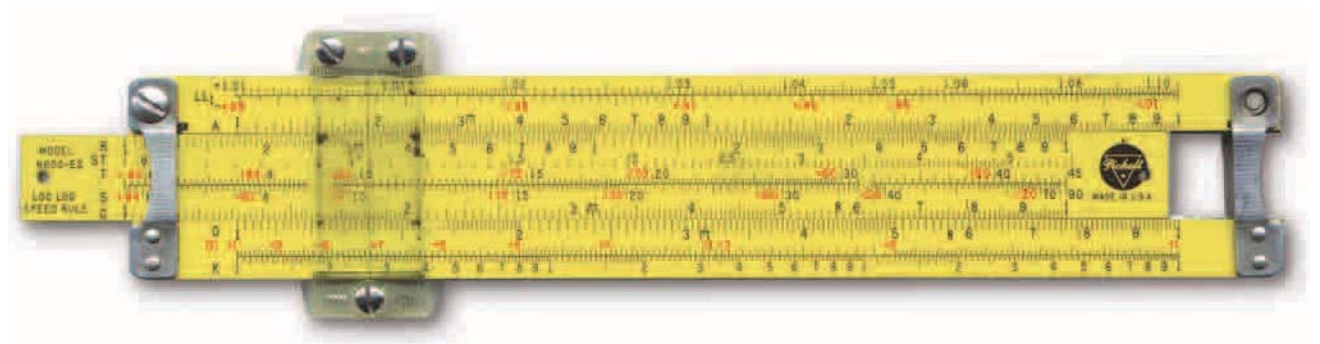
В 1960-х гг. чтобы окончить инженерный колледж, нужно было пройти обязательный курс по пользованию логарифмической линейкой. Кожаные чехлы с линейками свисали с брючных ремней сотрудников всех электротехнических отделов, а самые стильные носили зажимы для галстука в виде логарифмических линеек. На семинарах всегда было видно, кто проверяет цифры, названные докладчиком. Почти в каждой высокотехнологичной компании было принято дарить наиболее перспективным партнерам и клиентам логарифмические линейки с логотипом фирмы.

Звездный час логарифмической линейки

Благодаря двум скользящим планкам на свет появились знаменитый нью-йоркский небоскреб «Эмпайр-Стейт-Билдинг» и плотина Гувера на реке Колорадо, мост Золотые ворота в Сан-Франциско и гидравлическая коробка передач, транзисторное



Лондонский инженер Отис Кинг обернул полутораметровую логарифмическую шкалу вокруг небольшого цилиндра и создал высокоточный карманный вычислительный прибор



Отправляясь на Луну, американские астронавты брали с собой линейку *Pickett N600-ES* в качестве запасного калькулятора

радио и авиалайнер «Боинг-707». Создатель немецкой ракеты «Фау-2» и американской ракеты-носителя «Сатурн-5» Вернер фон Браун (Wernher Von Braun) пользовался относительно простой логарифмической линейкой немецкой фирмы *Nestler*. Астронавты, летавшие на Луну, брали с собой линейки компании *Pickett* в качестве запасных калькуляторов. Гениальный советский инженер-конструктор, основоположник практической космонавтики Сергей Павлович Королев использовал линейку *Nestler* при проектировании первого в истории человечества искусственного спутника Земли и первого пилотируемого космического корабля «Восток-1».

Она же была любимицей Альберта Эйнштейна.

И все же у логарифмической линейки была ахиллесова пята: точность обычных моделей ограничивалась всего тремя знаками. Этого было достаточно, чтобы определять, сколько бетона уйдет на фундамент, но не хватало для расчета траекторий межпланетных зондов. Кроме того, в ходе вычислений нужно было обязательно следить за положением десятичной точки. Число 3,46 под визиром бегунка могло означать и 34,6, и 3 460, и 0,00346. Поэтому всегда приходилось оценивать в уме порядок вычисляемой величины, чтобы правильно истолковать полученный результат.

Но нет худа без добра: пользователи логарифмических линеек хорошо разбирались в сути проводимых расчетов и всегда имели в виду ошибки округления и систематические погрешности. Вместо бездумного перемалывания чисел с помощью системы автоматизированного проектирования от инженера требовалось более глубокое понимание всех тонкостей вычисления нагрузок и напряжений, токов и импедансов, углов и расстояний. В основу ответов, получаемых вручную, закладывались знания и опыт, а не просто умение пользоваться компьютерной программой.

В условиях ограниченной точности и низкой скорости вычислений математики стремились упрощать сложные задачи, подвергая сложные нелинейные уравнения линеаризации и закрывая глаза на члены более высокого порядка. Например, расход топлива рассчитывался исходя

из мощности двигателя, а зависимость сопротивления воздуха от скорости автомобиля не учитывалась. Для проведения вычислений широко использовались эмпирические правила и приближенные методы, которые позволяли сэкономить время, но приводили к накоплению погрешностей и ошибок.

Поскольку инженеры полагались на несовершенные вычисления, при проектировании они были вынуждены придерживаться консерватизма и делать все с запасом. В результате стены получались толще, крылья самолетов — тяжелее, а мосты — прочнее, чем нужно. При этом повышались надежность и долговечность конструкции, но страдали ее экономичность, эффективность и технологичность.

Поскольку неподготовленному человеку непросто овладеть искусством вычислений на логарифмической линейке, она не прижилась среди народных масс, т.к. с ее помощью нельзя было складывать и вычитать, да к тому же все время приходилось следить за положением десятичной точки. Что говорить, логарифмическая линейка так и осталась инструментом для специалистов. ■

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Панов Д.Ю. Счетная линейка. М.: Наука, 1975.
- A History of the Logarithmic Slide Rule and Allied Instruments. Florian Cajori. First published in 1909. Reprinted by Astragal Press, 1994.
- Slide Rules: Their History, Models and Makers. Peter M. Hopp. Astragal Press, 1999.



Эра логарифмических линеек закончилась в 1972 г., когда в продажу поступил карманный калькулятор *HP-35* стоимостью \$395

ДАР БОГОВ

Аргентина
подарила миру
блистательных
футболистов,
страстное танго
и удивительную
церемонию мате

Напиток иезуитов и революционеров

Мате – это распространенный в Южной Америке способ употребления *Yerba Mate*, листьев и молодых побегов падуба парагвайского (*Plex paraguayensis*, семейство *Aquifoliaceae*), ставший популярным во многих странах, в том числе и в России. Родина растения — север Аргентины, юг Бразилии и Парагвай.

Согласно легенде, местные племена кечуа и гуарани получили мате в дар от богов. Во времена колонизации Южной Америки гуарани предлагали конкистадорам бесценный напиток. Тот, кто отважился принять угощение, сразу чувствовал прилив сил и ясность мысли. Особая заслуга в популяризации и распространении мате принадлежит ордену иезуитов, которые стали импортировать его в Европу,

сделав «чай иезуитов» одним из основных источников своих доходов.

Известный революционер Эрнесто Че Гевара любил пить мате в моменты отдыха. Как бы далеко он ни находился от Аргентины, аромат и вкус мате напоминали ему о Родине. Существуют уникальные фотографии команданте, где он запечатлен с калабасой — традиционным сосудом для заваривания и употребления мате.

Церемония мате

Традиционную емкость для питья — калабасу (от исп. *calabaza*, тыква) — делают из тыквы (*Lagenaria vulgaris*). Часто ее укра-

шают различными рисунками, узорами, обрамляют серебром, золотом, превращая сосуд в настоящее произведение искусства.

Перед использованием калабасу необходимо специальным образом подготовить, или, как говорят, «приучить к руке». Один из самых простых способов удалить засохшую мякоть тыквы со стенок сосуда — наполовину наполнить калабасу мате, залить горячей водой и оставить на сутки, после чего аккуратно очистить внутреннюю поверхность. Напиток пьют через металлическую или тростниковую трубочку — бомбилю.

Для приготовления настоящего мате необходимы качественная за-



варка (*Yerba Mate*), хорошая вода и умелый себодор — специалист по приготовлению напитка. Процесс на первый взгляд довольно прост. Калабаса на две трети заполняется мате, затем верхнее отверстие прикрывается, а сосуд переворачивается и встряхивается. Это необходимо для фракционного разделения сырья, чтобы более мелкие частицы переместились наверх, а более крупные опустились вниз. Установлено, что такое распределение частиц оптимально для извлечения действующих веществ из побегов и листьев падуба парагвайского.

Затем постепенно смачивают *Yerba Mate* в калабасе небольшими порциями теплой воды ($t \sim 40^\circ\text{C}$). Использование воды такой температуры позволяет избежать чрезмерной горечи. Далее на дно калабасы устанавливается бомбия, доливаются горячая вода ($t \sim 60\text{--}80^\circ\text{C}$). Напиток настаивается 2–3 минуты, после чего его можно пить. Первая порция мате имеет, как правило, характерный горьковатый вкус, что очень ценится настоящими гурманами. Когда на поверхности жидкости скапливаются веточки, мате считается истощенным. По мере уменьшения количества жидкости в сосуд доливают воду, но напиток не настаивают, а пьют сразу, что является отличительной особенностью церемонии.

Воздействие

Употребляя те или иные продукты питания или напитки, мы не только любим наслаждаться их изысканным вкусом, но и хотим знать, как они могут повлиять на наше физическое состояние.

В мировых научных центрах в течение многих лет проводятся исследования свойств *Yerba Mate*, а недавно началось его изучение в Московской медицинской академии им. И.М.Сеченова.

Химический состав побегов и листьев падуба парагвайского уникален: ни одно из известных рас-

тений в природе не содержит одновременно пуриновые алкалоиды (кофеин, теобромин, теofilлин), тритерпеновые сапонины, обеспечивающие стабильный тонизирующий эффект, и витамины группы В, поддерживающие нормальный метаболизм нервных клеток и предотвращающие их истощение.

Yerba Mate обладает антиоксидантными, антиатерогенными, кардио- и ангиопротекторными свойствами, а также оказывают на организм человека умеренное диуретическое, иммуностимулирующее, противовоспалительное и желчегонное воздействие.

Согласно результатам исследований, проведенных в Университете Рио Гранде (Бразилия), употребление мате, в отличие от кофе, не вызывает повышения артериального давления или бессонницы. Напиток можно употреблять при переутомлении, для профилактики депрессивных состояний различной этиологии. Также его можно включать в комплексные программы по снижению веса, так как его компоненты способны угнетать активность центра голода в латеральном отделе гипоталамуса.

Чтобы встречать каждое утро с улыбкой, а в конце дня удивляться, что запас сил не иссяк, достаточно обратиться к старинной церемонии



мате. Не случайно аргентинские гаучо встают на час раньше для того, чтобы насладиться этим волшебным напитком...

Автор выражает благодарность информационному portalу www.promate.ru за предоставленные материалы.

Алексей Леонов

Как выбрать качественный мате

По производству мате в настоящее время лидирует Аргентина. В городе Посадас создан и работает Национальный институт *Yerba Mate* (INYM), задачей которого является осуществление контроля над качеством продукта.

Мате должен быть расфасован в стране-производителе (так как фирмы несут ответственность за качество своей продукции), с указанием провинции (например, провинция Миссионес, Аргентина) или места сбора.

Различают мате со стебельками (*con palo*) и без стебельков (*sin palo*), однако содержание стебельков нормируется.

Качественный *Yerba Mate* можно определить по сильному специфическому аромату.

Хранить мате необходимо в банках из непolyмерных материалов с притертой крышкой, избегая контакта сырья с воздухом.

Перколяция

По сути, калабаса и бомбия — это уменьшенная модель экстрактора. Заваривая мате в калабасе и отбирая бомбией со дна сосуда небольшие порции готового напитка при постоянной подаче горячей воды сверху на сырье, мы осуществляем процесс процеживания. Такой способ приготовления обеспечивает максимальный выход полезных веществ и относительно устойчивую концентрацию напитка на протяжении всей церемонии.

Особенности церемонии

В Аргентине высокое доверие и уважение демонстрируется предоставлением права первого глотка мате. Нельзя говорить «спасибо», пока не закончится церемония, так как это означает, что вы отказываетесь от дальнейшего участия в ней. Напиток принято пить через одну бомбилью, несогласие равносильно оскорблению.

