

# В МИРЕ НАУКИ

scientific american

WWW.SCIAM.COM

№3 2003

## ЗВЕЗДНЫЕ СТОЛКНОВЕНИЯ

- **Дендритные клетки**  
Ключ к противораковой вакцине
- **Шестиногий сюрприз**  
Обнаружено новое насекомое
- **Лесные пожары**  
Американская преисподняя
- **Технологии против террора**  
Биологи и инженеры работают над созданием биодетекторов
- **На крыльях сна**  
По следам передачи "Очевидное-невероятное"

ISSN 0208-0621



9 770208 062001 >

ежемесячный научно-информационный журнал

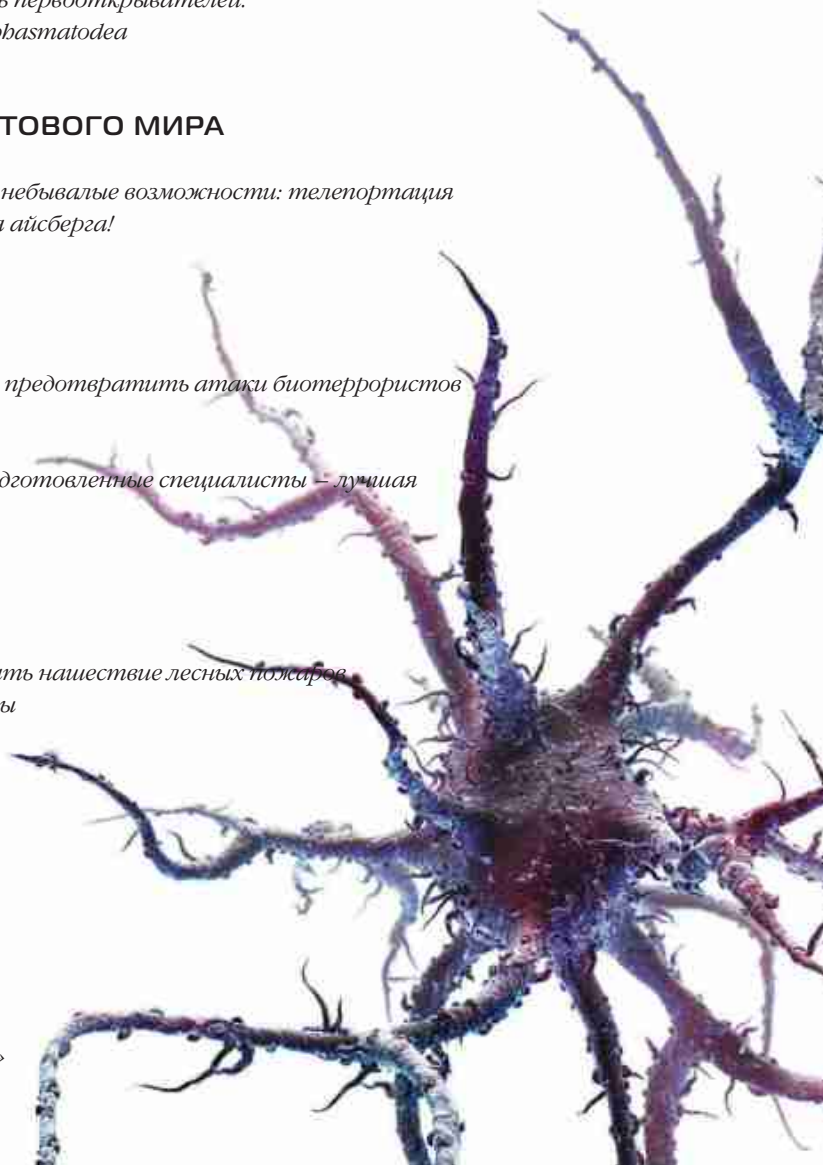


# СОДЕРЖАНИЕ

МАРТ 2003

## ГЛАВНЫЕ ТЕМЫ НОМЕРА

- 24 АСТРОНОМИЯ**  
**КОГДА ЗВЕЗДЫ СТАЛКИВАЮТСЯ**  
Майкл Шара  
*Столкновение двух звезд – необыкновенное зрелище. Раньше оно считалось невозможным, но теперь известно, что для некоторых областей Галактики это обычное явление*
- 32 ГДЕ СТАЛКИВАЮТСЯ ЗВЕЗДЫ?**  
Владимир Сурдин
- 34 БИОТЕХНОЛОГИИ**  
**ДЛИННЫЕ РУКИ ИММУННОЙ СИСТЕМЫ**  
Жак Баншеро  
*Дендритные клетки всегда стоят на страже нашего организма. С их помощью ученые надеются найти лекарство от рака*
- 42 ЗООЛОГИЯ**  
**ГЛАДИАТОРЫ: НОВЫЙ ОТРЯД НАСЕКОМЫХ**  
Йоахим Адис, Оливер Цомпро, Эстер Мумбола-Гогазес и Юджин Мараис  
*Энтомологи испытали непривычную радость первооткрывателей. Обнаружен новый отряд насекомых – Mantophasmatodea*
- 50 ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**  
**ПРАВИЛА ДЛЯ СЛОЖНОГО КВАНТОВОГО МИРА**  
Майкл Нильсен  
*Квантовая теория информации таит в себе небывалые возможности: телепортация и нерушимая криптография – лишь верхушка айсберга!*
- 60 ЗАЩИТА**  
**ТЕХНОЛОГИИ ПРОТИВ ТЕРРОРА**  
Рокко Касагранде  
*Новые системы раннего оповещения помогут предотвратить атаки биотеррористов*
- 66 НЕУСЫПНЫЙ КОНТРОЛЬ**  
Стивен Морзе  
*Надежные системы раннего оповещения и подготовленные специалисты – лучшая защита от биотерроризма!*
- 68 ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА**  
**ЖГУЧИЕ ВОПРОСЫ**  
Дуглас Гантенбейн  
*Ученые делают все возможное, чтобы сдержать нашествие лесных пожаров на американском Западе и понять их причины*
- 76 ЛЕСНЫЕ ПОЖАРЫ В РОССИИ**  
Татьяна Потапова
- 78 ПУТЕШЕСТВИЯ**  
**ОХОТА НА БАБОЧЕК**  
Вайт Гиббс  
*Охота на чешуекрылых в горах Грейт-Смоки*
- 80 НАУКА И ОБЩЕСТВО**  
**НА КРЫЛЬЯХ СНА**  
*По следам передачи «Очевидное-невероятное»*



## В МИРЕ НАУКИ

### Учредитель и издатель:

Негосударственное образовательное учреждение  
«Российский новый университет»

**Главный редактор:** С. П. Капица

**Заместитель главного редактора:**  
В. Э. Катаева

**Ответственный секретарь:** О. И. Стрельцова

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

**Редактор:** А. А. Приходько

**Старший менеджер по распространению:**  
С. М. Николаев

### Научные консультанты:

кандидат физико-математических наук В. Г. Сурдин  
доктор медицинских наук,  
профессор Я. И. Левин  
доктор физико-математических наук,  
профессор А. С. Холево  
доктор экономических наук,  
профессор М. В. Конотопов  
О. А. Василенко

### Над номером работали:

М. М. Агафонов, Е. Г. Булгакова, О. А. Василенко,  
Н. И. Дробышева, Д. А. Елесин, А. В. Зернов,  
Б. А. Квасов, Э. Е. Кожанова, А. Д. Попов,  
Т. В. Потапова, М. Я. Рутковская, И. Е. Саевич,  
В. В. Свечников, А. А. Сорокин,  
В. Г. Сурдин, О. В. Стебакова,  
Н. Н. Шафрановская, Н. А. Шурыгина

**Корректур:** И. Е. Кроль

**Препресс:** P-studio

**Отпечатано** Федеральным государственным  
унитарным издательско-полиграфическим  
предприятием «Кострома» Заказ №2120

### Адрес редакции:

105005 Москва, ул. Радио д.22, к 409

### Телефон:

(095) 105-03-72, тел./факс (095) 105-03-83  
e-mail: red\_nauka@rosnou.ru

### © В МИРЕ НАУКИ РосНОУ, 2002

Журнал зарегистрирован в Комитете РФ по печати.  
Свидетельство ПИ № 77-13655 от 30.09.02

**Тираж:** 15000 экземпляров

Цена договорная.

Перепечатка текстов и иллюстраций только  
с письменного согласия редакции.

При цитировании ссылка на журнал «В мире науки»  
обязательна.

Редакция не всегда разделяет точку зрения авторов.

Рукописи не рецензируются и не возвращаются.

## SCIENTIFIC AMERICAN

ESTABLISHED 1845

**Editor in Chief:** John Rennie

### Editors:

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

**Art director:** Edward Bell

**Publisher:** Bruce Brandfon

**Chairman emeritus:** John J. Hanley

**Chairman:** Rolf Grisebach

**President and chief executive officer:**  
Gretchen G. Teichgraeber

**Vice President and managing director:**  
Charles McCullagh

**Vice President:** Frances Newburg

© 2002 by Scientific American, Inc.

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

## РАЗДЕЛЫ

### 18 ИННОВАЦИИ

*Фармацевтическая компания работает  
над созданием биодетектора, способного  
обнаружить практически любой патогенный  
микрорганализм*

### 20 СЕРЬЕЗНЫЕ ПРИТЯЗАНИЯ

*Вечное движение сменило название, но не методы*

### 21 СКЕПТИК

*Магнитотерапия – уроки истории*

### 22 ПРОФИЛЬ

*Вероятность успеха ничтожна, но Джилл Тартер  
настойчиво пытается обнаружить признаки  
внеземного разума*

## ОБЗОРЫ

ОТ РЕДАКЦИИ

### 3 ЗЕМЛЯ В ОГНЕ

*Сезон кошмарных лесных пожаров закончился.  
Похоже, на этот раз лесничие оказали лесу  
медвежью услугу*

### 4 50, 100 И 150 ЛЕТ ТОМУ НАЗАД

### 6 НОВОСТИ И КОММЕНТАРИИ

- Паршивая овца среди физиков
- Увядающий земной магнит
- Не пора ли пересмотреть теорию относительности?
- Очистка радиосигналов
- Повернутый свет
- Проценты счастья
- Хорошо ли жить в Америке?

### 86 КНИЖНОЕ ОБОЗРЕНИЕ

### 90 ЗНАНИЕ – СИЛА

*Наблюдайте за ветром*

### 92 ГОЛОВОЛОМКА

*Совершенный бильярд*

### 94 ПОХВАЛА ГЛУПОСТИ

*Чепуха со всего света*

### 95 СПРОСИТЕ ЭКСПЕРТОВ

*Почему звезды мерцают? Почему люди зевают?*

# ЗЕМЛЯ В ОГНЕ

Площадь гари на территории лесного фонда России в пять раз превышает площадь вырубки лесов, размеры ежегодного ущерба от лесных пожаров соизмеримы с величиной доходов от лесного хозяйства, а в отдельные годы значительно превышают его. Что делать? Лесной пожар – не шутка. В этом убедились летом 2002 г. жители Москвы и Московской области, а в начале 2003 г. жители Канберры.

В США же сезон кошмарных лесных пожаров закончился. На этот раз огонь охватил более 2,4 млн. га леса, тысячи людей были эвакуированы, а борьба с пламенем обошлась в \$1,5 млрд.

Похоже, на этот раз лесничие оказали лесу медвежью услугу<sup>1</sup>. Десятилетия профилактических противопожарных мероприятий и недавняя засуха привели к тому, что на обширных лесных территориях скопился сундук из низкого кустарника и засохших деревьев. Из 188 млн. га федеральных лесов около 76 млн. га готовы вспыхнуть от любой искры. Сейчас предпринимаются различные меры для уборки засохшего подлеска, а идея прореживания западных лесов обретает все больше сторонников.

Масло в огонь подлил президент США Джордж Буш. Недавно он одобрил план, согласно которому лесорубам будет разрешено вырубать более ценные крупные деревья взамен «добровольных» работ по освобождению леса от горючего хвороста. Широко обсуждается вопрос о целесообразности и методах прореживания лесов. По крайней мере, все сходится на том, что необходимо всестороннее исследование этой проблемы (см. статью Дугласа Гантенбейна «Жгучие вопросы» на стр. 68).

Борясь с лесными пожарами, мы должны понимать, что огонь – это важная часть западной экосистемы. Например, толстая – от 4 до 10 см – кора исконно растущей здесь желтой сосны сохраняет дерево от неблагоприятных внешних воздействий. А некоторые виды сосновых шишек не выбросят семена без теплового воздействия пламени. Западные леса чрезвычайно приспособились к природному возгоранию, возникающему, например, от ударов молнии. Каждые несколько лет весь сундук методично уничтожался такими пожарами, пока они не были подавлены лесными службами.

Поэтому вырубка подлеска и постепенное прекращение общепринятой превентивной борьбы с огнем находят все большую поддержку. Но этих мер недостаточно. Корень проблемы кроется не в чрезмерном желании спасти деревья, а в бурной застройке лесных массивов. Лесистые холмы западных штатов привлекают будущих домовладельцев. Среди живописного пейзажа появляется все больше и больше построек, образующих так называемую природно-городскую среду. По данным Национального межведомственного пожарного центра (г. Бойл, штат Айдахо), за последние 25 лет количество домов, расположенных на пожароопасной территории, увеличилось в 10 раз.

Хотя дома можно строить из огнеупорных материалов, поселения все равно требуют особых профилактических противопожарных мер. При этом в некоторых местах опасность возгорания особенно велика именно из-за тушения естественных пожаров: сундук и бурелом накапливают-

ся и в любой момент готовы вспыхнуть «синим пламенем».

Это не первый случай, когда люди в своем стремлении к природе все больше отдаляются от нее. К счастью, теперь стоимость страхования жизни и имущества может быть снижена из-за особых условий окружающей среды. Решая, что и как строить, уполномоченные лица на федеральном и местном уровнях должны признать неизбежность пожаров и учитывать их, так же как учитывают наводнения, землетрясения и ураганы. В некоторых районах, например в Малибу, штат Калифорния, уже введены строгие строительные нормы и правила. Страховые компании могут выдвигать своим клиентам более жесткие требования в зависимости от местоположения построек.

Со временем могут потребоваться и более решительные меры, включая запрет на строительство в пожароопасных зонах. Кому-то это покажется чрезмерным вмешательством государства, но, отказываясь идти на компромисс, мы рискуем вновь наступить на грабли для расчистки «лесных завалов». ■



<sup>1</sup>*Smokey Bear* – эмблема Службы леса, симпатяга медведь в джинсах, шляпе и форменной рубашке лесника.

## ЯНВАРЬ 1953

**РАДИОТЕЛЕСКОПЫ.** «По мере того как радиотелескопы более детально обследовали небо, стало ясно, что наиболее интенсивное радиоизлучение исходит из областей с наибольшей концентрацией звезд. Мы еще не можем с определенностью сказать, что является источником радиоволн, однако это наблюдение чрезвычайно важно для астрономии. Для подобных исследований необходима очень высокая разрешающая способность аппаратуры, что требует создания очень больших радиотелескопов. Новый радиотелескоп, строящийся в Джодрелл Бэнк на станции Манчестерского университета в Англии, будет много больше уже существующего и сможет обследовать все уголки неба». ■

**ЛЕЧЕНИЕ ШИЗОФРЕНИИ.** «Столкнувшись со все возрастающим масштабом проблемы, психиатры сегодня склонны использовать быстрые и радикальные методы лечения, разработанные за последние 20 лет, – шоковую

терапию с использованием электричества, метразола, инсулина, двуокиси углерода, а также префронтальную лоботомию. Хотя эти методы дают быстрый положительный результат, дальнейшие наблюдения показали, что он является временным: у значительной части пациентов, прошедших шоковую терапию, рано или поздно наступает рецидив. В последние 10 лет все больше психиатров, особенно молодых, стали применять для лечения шизофрении методы психотерапии, основываясь на том, что, вопреки выводам Фрейда, между врачом и больным существует возможность установления психологического контакта. Однако подобное лечение занимает не менее двух лет и является более дорогим, чем быстрые методики шоковой терапии». ■

## ЯНВАРЬ 1903

### ЧУДЕСА БЕСПРОВОЛОЧНОЙ СВЯЗИ.

«За несколько дней до Рождества с пустынного мыса на восточном берегу острова Кейп-Бретон в Канаде Гильермо Маркони по беспроволочному теле-

графу обменялся поздравлениями с несколькими коронованными особами Европы. Сейчас этот ученый готовится передать через Атлантический океан коммерческую информацию, что, безусловно, явится самым замечательным научным достижением года». ■

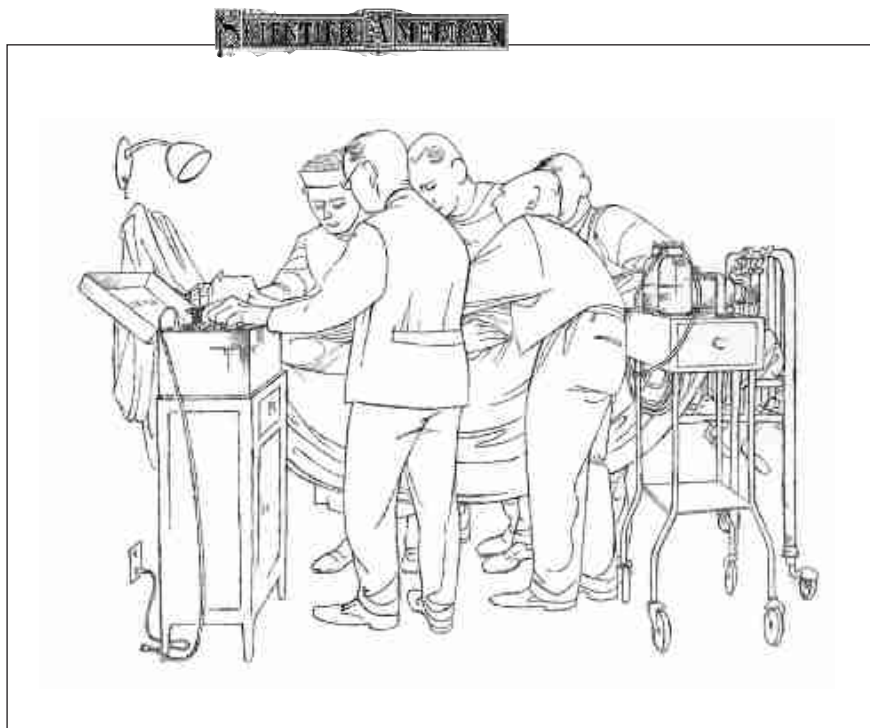
### ПЬЯНИЦАМ НА ЗАМЕТКУ.

«На Бакалейной выставке в Лондоне за £50 предлагалась безопасная керосиновая лампа, предназначенная для тех, кто использует керосиновые лампы в качестве метательного снаряда. Целью изобретателей было создание максимально безопасной дешевой лампы, которую можно было бы продавать в беднейших кварталах. Одной из серьезнейших проблем для Лондона является защита людей, склонных к пьянству, от самих себя. Следовало создать лампу, которая, будучи брошенной пьяным мужем в жену или детей, автоматически гасла бы, предотвращая пожар и увечье». ■

## ЯНВАРЬ 1853

### ПЛОДЫ ПРОГРЕССА.

«Издание *Providence Journal* (PJ) сокрушается по поводу неумеренного распространения роскоши: «Деньги, потребные теперь молодой супружеской чете для обустройства, могли бы составить целое состояние для их дедушек. Средства, потраченные на мебель, посуду и бессмысленные безделушки, которыми каждая молодая хозяйка считает необходимым украсить свой дом, будучи помещены в банк под проценты, могли бы послужить для щедрого возмещения убытков в случае финансового краха. Наиболее вульгарной выглядит мода на вычурную мебель. А человек, у которого в доме тикают единственные дедушкины ходики, а не изысканные французские каминные часы в каждой комнате, вовсе не сможет узнать который час». И хотя мы согласны с некоторыми из этих замечаний, другие мы принять никак не можем. Мы удовлетворены прогрессом в строительстве, в одежде и во всем, что не противоречит морали». ■





# ПРОВЕРКА РЕАЛЬНОСТИ

Подозрение в обмане заставило физиков задуматься.

Дж. Минкел

## Неприятности с элементами

Газовый сепаратор в Беркли (виден рядом с техником) отделяет тяжелые ионы от других продуктов реакции. Именно с его помощью были получены данные, которые Виктор Нинов истолковал как свидетельства присутствия элементов 116 и 118.

Прошедшим летом научное сообщество было потрясено: двух физиков заподозрили в обмане. Поскольку одно расследование только что завершилось, а по результатам другого подана апелляция, ученые не решаются высказывать свое мнение. Однако некоторые видят в этих событиях отрезвляющий сигнал для тех, кто всегда считал обман чрезвычайным происшествием. «Мы с коллегами пообедали и рассуждали: могло бы такое случиться в нашей группе?» – сказал профессор физического факультета Массачусетского технологического института Марк Кастнер (Marc A. Kastner).

Выявление грубых ошибок, будь они плодом добросовестного заблуждения или злого умысла, свойственно экспериментальным наукам. Хотя проверить промежуточные данные способны немногие, основания для проверки выдающихся достижений могут возникнуть сразу же. Беда в том,

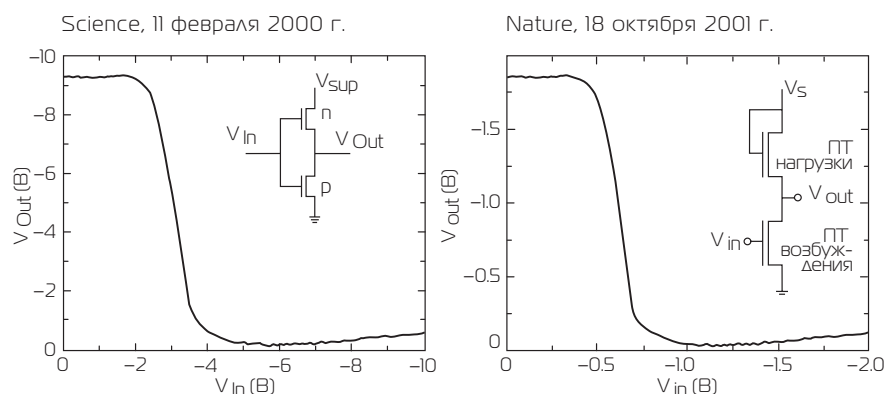
что никому не удалось вновь получить результаты, опубликованные группой Яна Хендрика Шона (Jan Hendrick Schon) из *Bell Laboratories* и Виктором Ниновым (Victor Ninov) из Национальной лаборатории им. Лоуренса в Беркли.

За последние два года Шон написал целый ряд удивительных статей, в которых сообщалось о высокотемпературной сверхпроводимости и электрической коммутации на молекулярном уровне в тонких пленках органических материалов. Эти открытия намечали путь к созданию более совершенных транзисторов. Слухи о Нобелевской премии уступили место замешательству, поскольку проходили месяцы, а воспроизвести результаты не удавалось. Исследователей насторожило подозрительное сходство графиков в разных публикациях Шона. Оно побудило компанию *Bell Laboratories* создать комиссию для расследования. В ее отчете от 25 сентября признано, что Шон манипулировал данными и искажал их, но с его соавторов подозрения сняты (а Шон был уволен).

Нинов, известный физик-ядерщик, с группой из 14 сотрудников заявили в 1999 г., что обнаружили ядра элементов 116 и 118 в ливнях, образованных столкновениями частиц высоких энергий. Не последовало ни одной независимой проверки, а найти следы этих ядер удавалось только Нинову. Вот тут-то у некоторых его коллег стали зарождаться подозрения. Лаборатория им. Лоуренса после внутреннего расследования уволила его, но он опротестовал принятое решение и отказался присоединиться к другим авторам официального отчета, опубликованного 15 июля







Слишком безупречно?

Профили шумов (нерегулярности в нижней части кривых), представленные в двух разных журналах, почти идентичны, несмотря на различие масштабов по оси абсцисс. Такое же удивительное сходство имеют графики чуть ли не в 20 различных статьях Яна Хендрика Шона. Это и вызвало сомнения у других исследователей.

в журнале *Physical Review*. Тогда возникли сомнения и в отношении данных, на основании анализа которых Нинов объявил об открытии в Европе элементов 110 и 112 в 1995 и 1996 гг. (Существование этих двух элементов и элемента 116 было впоследствии подтверждено.)

Некоторые физики все же считают, что выехать на обмане трудно и что в любом случае «система» выявляет ложь, хотя и не всегда быстро. Как заметил Николас Стенек (Nicholas Steneck), историк из Мичиганского университета, в начале 80-х гг. «биологи говорили точно то же самое и оказались не правы», недооценивая значение мер по предотвращению ошибок. С тех пор они стали строго следить за публикацией данных и обучать молодых исследователей четко формулировать правила ответственного поведения. Физики поступают мудро, если последуют их примеру, заметил Стенек. Обеспокоенность конгресса привела к созданию отдела добросовестности исследований в министерстве здравоохранения и социальных служб. Аналогичный орган – офис генерального инспектора – есть и в Национальном научном фонде.

Часть физиков считает необходимым принятие дополнительных мер. «Я думаю, что без коренных изменений культуры не обойтись», – считает директор отдела материаловедения Национального научного фонда Томас Вебер (Thomas A. Weber), бывший сотрудник *Bell Laboratories*. Он полагает, что в высших учебных заведениях могут понадобиться курсы научной этики.

Существует мнение, что бремя ответственности должно ложиться и на соавторов. Некоторые физики убеждены, что коллеги должны доверять друг другу, но именно исследовательская группа должна отлавливать случайные или преднамеренные ошибки.

Соавторы должны делить ответственность, настаивает Роберт Парк (Robert L. Park) из Американского физического общества: «Если вы ставите свою подпись под статьей, то подразумевается, что вы считаете ее правильной. В случае явной недобросовестности соавторов следует спросить, почему они не вскрыли ее».

Специализация внутри групп может затруднить взаимные проверки, но все согласны, что никто не должен единолично заниматься сбором или анализом данных, как, видимо, произошло в недавних случаях. К экспериментам на ускорителях высоких энергий, когда число участников может достигать нескольких сотен, а для предотвращения ошибок проводятся сложные перекрестные проверки, сказанное относится в меньшей степени. Руководители небольших коллективов физиков-ядерщиков говорят, что очень ценно взаимное доверие, возникающее в процессе долгого сотрудничества, но независимый анализ данных все же необходим. Академические и отраслевые исследователи в области физики конденсированных сред также считают, что взаимодействие более молодых членов групп со старшими коллегами или научными руководителями затрудняет фальсификацию результатов. ▶

БЕЗОПАСНАЯ ПУБЛИКАЦИЯ

Научные журналы должны укреплять этику. Американское физическое общество, издающее журнал *Physical Review*, пересматривает свои принципы проведения независимых расследований случаев недобросовестности. Сегодня оно внимательно рассматривает все замечания редакторов, обозревателей или ученых и оповещает соответствующие организации, считает главный редактор *Physical Review* Мартин Блюм (Martin Blume). Если организация умывает руки, Американское физическое общество проводит собственное расследование.

Многие физики считают, что ужесточение проверок может быть слишком обременительным. Но член научного совета Института электроэнергетических исследований в Пало-Алто (штат Калифорния) Пол Грант (Paul M. Grant) полагает, что важным шагом стало бы признание независимой проверки положительным фактором, способствующим принятию решений. А у рецензентов появился бы стимул работать тщательнее.

К обременительным системным изменениям многие относятся с опаской. Ведь и без них возможность быстрого и беспристрастного расследования – неплохой сдерживающий фактор, а потрясения, вызванные событиями вокруг Шона и Нинова, непременно приведут к ужесточению традиционных мер безопасности. Но даже если эти случаи забудутся, никто не знает, насколько распростра-

нена недобросовестность в физических науках на самом деле. Если правдой окажется самое худшее, то «мы, возможно, были очень наивны», говорит Вебер. ■

ОБ АВТОРЕ:

**Дж. Минкел**, живущий в Нью-Йорке, работает по совместительству в американском физическом обществе.

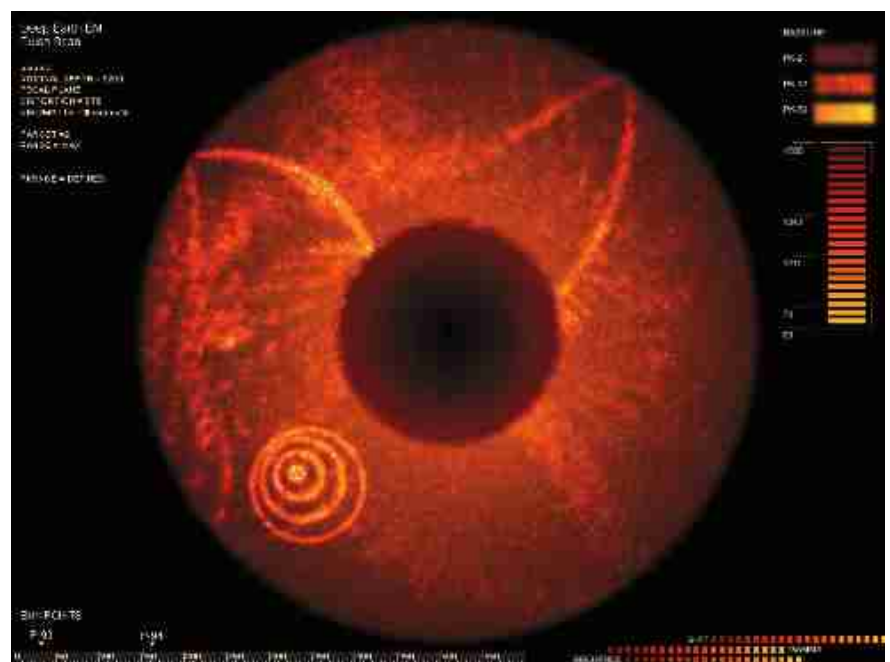
# ЗЕМНОЙ МАГНИТ ОПРОКИНЕТСЯ?

Ослабление магнитного поля Земли может предвещать его скорое обращение.

**Сара Симпсон**

Птицы и компасы различают север и юг потому, что магнитное поле Земли имеет два полюса, причем соединяющая их прямая почти точно совпадает с осью вращения Земли. Это простая физика.

Не многим известно, что последние 150 лет гигантский магнитный диполь стремительно ослабевает. Если процесс будет и дальше продолжаться в том же темпе, то в начале следующего тысячелетия магнитное поле Земли



Срез Земли по-голливудски: в фильме «Ядро» дан поперечный разрез Земли, на котором показаны возмущения магнитного поля (концентрические круги) в мантии.

может полностью исчезнуть. Если защитный магнитный экран планеты ослабнет, потоки частиц космического и солнечного происхождения выведут из строя искусственные спутники Земли. И это еще меньшее зло, которое могут причинить человечеству смертоносные ливни радиации.

Утешает лишь то, что исчезновение магнитного поля будет временной фазой обращения полюсов. Когда она завершится, стрелки компасов станут указывать на Южный полюс, а не на Северный. Результаты анализа магнитных минералов, входящих в состав древних горных пород, свидетельствуют, что за последние 500 млн. лет полярность магнитного поля менялась сотни раз. Остается загадкой, когда и как происходило это явление, поэтому нет возможности предсказать его.

Большинство геофизиков придерживается мнения, что магнитное поле Земли создается расплавленным железом, циркулирующим глубоко в ядре планеты. Всего лишь шесть лет назад появилась первая компьютерная модель движений в земном ядре и вызываемых ими магнитных эффектов. Современные программы моделируют даже процесс обращения магнитных полюсов, причем некоторые из них отводят на него всего 1200 лет – миг в геологическом масштабе времени.

В начале 2002 г. Готье Юло (Gautier Hulot) и его коллеги из Парижского геофизического института провели спутниковые наблюдения для изучения изменений магнитного поля во внешних слоях земного ядра. Глубоко под южной оконечностью Африки они обнаружили небольшую область, где магнитные силовые линии направлены к центру Земли, а не к поверхности, как большинство линий в этом регионе. Группа подобных аномалий существует и вблизи Северного полюса.

Команда Юло предполагает, что эти участки перевернутого поля представляют собой вихри, закрученные против основного движения

в ядре, и что именно они могут быть причиной наблюдаемого ослабления магнитного поля Земли. Более того, безудержный рост аномалий говорит о необходимости пересмотра всех компьютерных моделей.

Какова же будет жизнь на Земле в период изменения полярности? Киностудия *Paramount Pictures* выпустила геофизический триллер «Ядро». В нем рисуется такая картина: птицы сбиваются с маршрутов своих сезонных перелетов, а люди живут в условиях частых «штормовых предупреждений» о радиационной опасности. Всемирное правительство объединяет усилия человечества для строительства аппарата, в котором люди смогли бы пробиться в твердые породы земной мантии на глубину 2 900 км, выдержав испепеляющий жар земного ядра, сравнимый с жаром на поверхности Солнца. Цель путешествия – вызвать на этой глубине ядерный взрыв, который должен восстановить естественные потоки в ядре и тем самым предотвратить обращение магнитного поля.

Поскольку современные технические возможности не позволяют реализовать подобный проект в жюльверновском духе, ученые предлагают не драматизировать события. Диполь ослабевает, но это не значит, что он обязательно перевернется. Из миллионов естественных флуктуаций магнитного поля лишь единицы способны перерасти в его полное обращение. Последние компьютерные модели показали, что периферийные магнитные поля, которые составляют не более 10% всего поля, при ослаблении доминантного диполя могут усиливаться. Больше всего обнадеживает то, что не обнаружено корреляции масштабных исчезновений каких-либо форм жизни с обращениями магнитного поля. Геофизик Джозеф Киршвинк (Joseph L. Kirschvink) из Калифорнийского технологического института заметил: «Если и будут какие-то биологические последствия, то наша цивилизация достаточно развита, чтобы их выдержать». ■

### Магнитная память

Богатые железом минералы намагничиваются при охлаждении до температур ниже точки Кюри. В момент возникновения намагниченности ее направление определяется внешним магнитным полем и сохраняется до тех пор, пока порода не будет нагрета вновь. В результате анализа этих «магнитных записей», обнаруженных в разных концах света, ученые пришли к выводу, что обращения магнитного поля планеты непредсказуемы.

Число известных обращений:

Около 1 000

Время последнего обращения:

780 000 лет назад

Самое медленное обращение:

10 000 лет

Самое быстрое обращение:

1 000 лет\*

Типичный интервал между обращениями:

200 000 лет

Самый длительный интервал между обращениями:

50 млн. лет

*\*Есть свидетельства, которые позволяют думать, что скорость смещения Северного магнитного полюса в ходе быстрого обращения магнитного поля Земли 16 млн. лет назад достигала трех градусов в сутки.*

# ПЕРЕСМОТР ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Современные физики пытаются пойти дальше Эйнштейна.

Грэхем Коллинз

Частная теория относительности Эйнштейна, которой исполнилось 97 лет, – это одна из наиболее полных систем физических законов. В сочетании с квантовой механикой она составляет основу физики элементарных частиц, а объединившись с теорией гравитации, превращается в общую теорию относительности, которая описывает поведение черных дыр и расширение Вселенной и позволяет рассчитать поправки к траекториям спутников глобальной навигационной системы (GPS).

Время от времени какой-нибудь чудак заявляет, что дополнил или опроверг теорию относительности, но серьезные теоретики редко отваживаются поправить что-либо в самих ее основах. И все же недавно небольшая группа физиков выдвинула предположение, что назрела необходимость коренного пересмотра теории Эйнштейна.

Главное новшество – введение второй фундаментальной величины в дополнение к скорости света в вакууме, для которой принято обозначение  $c$ . Постулат о постоянстве  $c$  для всех наблюдателей – это краеугольный камень теории относительности. Когда скорость относительного движения объектов приближается к  $c$ , начинают проявляться замедление времени и сокращение расстояний.

В квантовой теории гравитации есть своя особая величина – энергия Планка, которая однозначно определяется скоростью света  $c$  в сочетании со степенью квантовых эффектов и напряженностью гравитационного поля. Для элементарной частицы

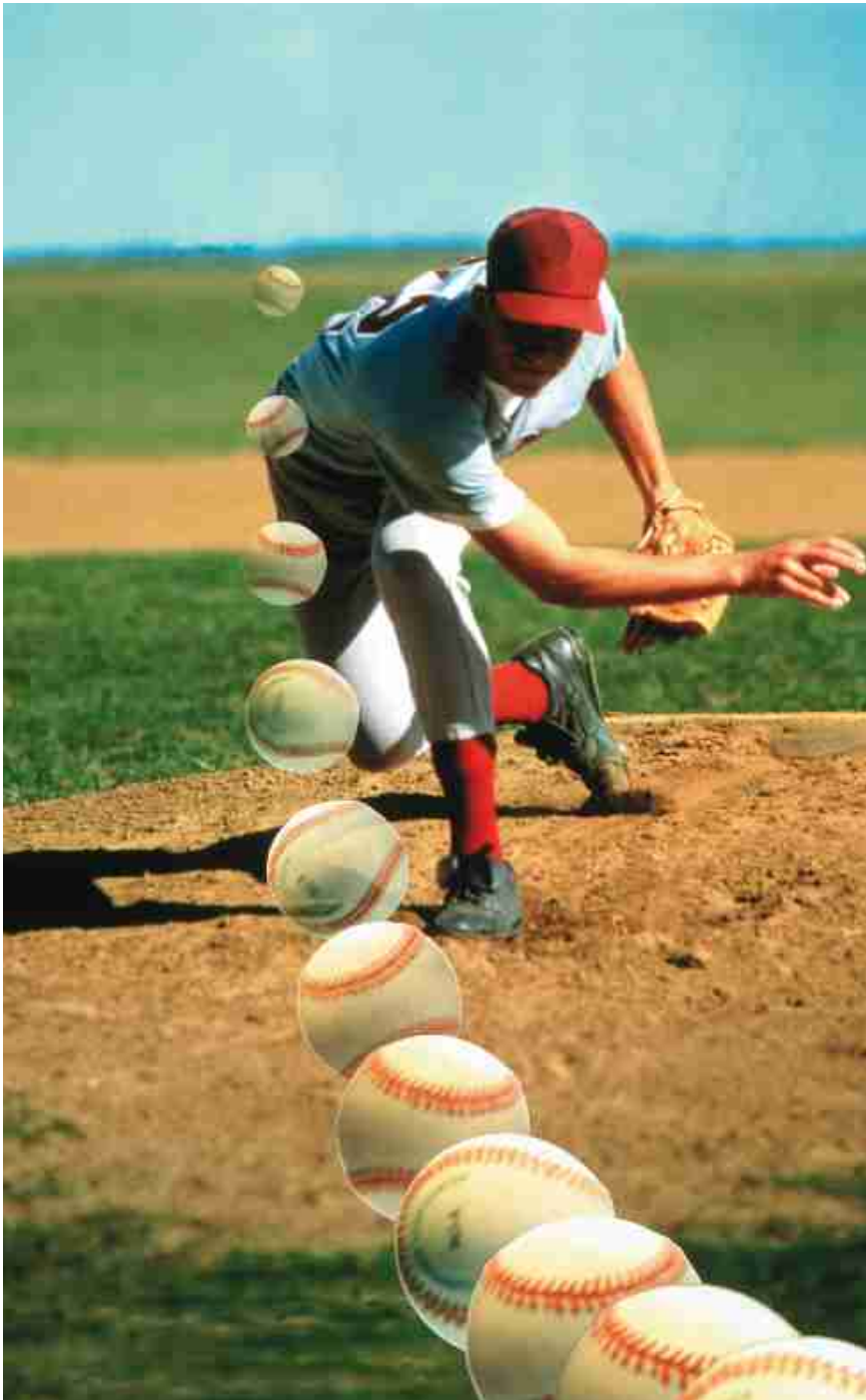
энергия Планка намного превосходит любые энергии, когда-либо наблюдавшиеся в космических лучах или достигнутые в ускорителях. С приближением энергии частиц к энергии Планка существующие физические теории становятся неприменимыми, и эстафету принимает пока еще не выработанная теория квантовой гравитации, объясняющая такие удивительные явления, как «пенистость» самого пространства-времени. Теория относительности вдруг оказывается несостоятельной, поскольку по-разному движущиеся наблюдатели разойдутся во мнении о том, когда частица достигает планковского режима. Как может быть, что один наблюдатель видит частицу движущейся в обычном непрерывном пространстве-времени, а другой видит ее же скачущей через квантовую пену?

В конце 2000 г. Джованни Амелино-Камелия (Giovanni Amelino-Camelia) из Римского университета предложил пересмотренную теорию относительности, в которую было введено понятие минимального расстояния, называемого длиной Планка и соответствующего энергии Планка. Поскольку в его теории используются две абсолютные константы –  $c$  и длина Планка, – Амелино-Камелия назвал ее дважды частной теорией относительности. Согласно этой теории, короткие волны, длина которых приближается к длине Планка, становятся все более нечувствительными к эффектам сокращения расстояний. Это приводит также к тому, что свет с очень малыми длинами волн начинает двигаться несколько быст-

рее  $c$ . Проверкой для этой теории могут стать наблюдения космических частиц сверхвысоких энергий или гамма-лучей с помощью орбитального телескопа *GLAST*, запуск которого намечен на 2006 г.

Изменение скорости света исключается в более новой дважды частной теории относительности, которую предложили Ли Смолин (Lee Smolin) из Периметрического института теоретической физики в Ватерлоо (Онтарио, Канада) и Хояо Магуэйю (João Magueijo) из Имперского колледжа (Лондон, Великобритания). Эта теория изменяет представление о том, как частица накапливает энергию и импульс при ускорении до очень высоких энергий. Смолин и Магуэйю предположили, что энергия ускоримой частицы асимптотически приближается к энергии Планка так же, как скорость ускоряемого макроскопического тела приближается к скорости света  $c$ . Изменения физики явлений, предсказываемые теорией Смолина–Магуэйю, существенно меньше, чем в модели Амелино-Камелия, и поэтому их едва ли удастся проверить в обозримом будущем. Существует еще целый класс дважды частных теорий относительности.

Преобразования энергии и импульса более понятны, чем эффекты дискретности расстояний. Вообразите себе использование линейки со шкалой в единицах длины Планка для измерения длины бейсбольной биты. Движущийся наблюдатель будет видеть биту укоротившейся вследствие релятивистского эффекта, но если длина Планка неизменна, то на линейку со шкалой в длинах Планка



Когда бейсбольный мяч становится дважды частным

Понятие пороговой энергии для проявления двойных релятивистских эффектов применимо только к элементарным частицам и неприменимо к состоящим из них макроскопическим объектам. Масса, эквивалентная энергии Планка, составляет всего 20 мкг. Масса бейсбольного мяча намного больше, но никаких странных «запланковских» эффектов в его поведении не наблюдается. Энергия частиц, из которых состоит этот мяч, может приблизиться к энергии Планка только при условии, что скорость полета мяча вплотную приблизится к скорости света. Только тогда будут заметны дважды частные релятивистские эффекты.

движение наблюдателя не повлияет. Длины по этой линейке нельзя складывать по простым правилам арифметики. Энергии суммируются по таким же усложненным правилам.

Специалист по квантовой теории гравитации Стивен Карлип (Steven Carlip) из Калифорнийского универ-

ситета заявил, что дважды частная теория относительности – это интересная идея, но он опасается, что ее авторы «ищут слишком простого решения сложной задачи» в области квантовой гравитации. Правда, он добавил: «Надеюсь, что я ошибаюсь». ■

# ТОЧНАЯ НАСТРОЙКА

Интегральные микросхемы придают цифровое качество обычным радиоприемникам.

Стивен Эшли

## Что такое цифровое радио?

Когда говорят о цифровом радио, то имеют в виду две вещи. Большинство знакомо с цифровой настройкой, при которой для фиксации радиоволны используется кристалл кварца. Понятие «цифровое радио» также может относиться к спутниковому или наземному вещанию, когда вместо обычных звуковых колебаний передаются последовательности единиц и нулей. Прием таких сигналов требует использования дорогого цифрового оборудования. Но понятие «цифровое» можно отнести и к программно-управляемым приемникам, в которых вместо обычных радиосхем для обработки аналоговых сигналов используют интегральные схемы и зашитые в них алгоритмы. Предлагаемая компанией *Motorola* система *Symphony* относится именно к этой категории.

Бывает досадно, когда во время длительной поездки вашу любимую мелодию забивает треск или на нее накладывается посторонняя передача. Замирание сигнала и интерференция каналов – хорошо знакомый автомобилистам бич. Однако представители компании *Motorola* заявили, что знают, как зафиксировать настройку на данную станцию, даже если уровень шума превышает уровень сигнала.

Инженеры компании разработали кремниевые чипы для сложной цифровой обработки обычных аналоговых сигналов и осуществления настройки программным способом. Эта система, получившая название «Симфоническое цифровое радио» (*Symphony Digital Radio*), основана на алгоритмах, заложенных в набор 24-разрядных микросхем быстродействием 1 500 млн. операций в секунду. Устройство переносит любой амплитудно- или частотно-модулированный сигнал на промежуточную частоту, которая фильтруется и об-

рабатывается сигнальным процессором. Если сигнал достаточно силен, то достигаемое качество звучания близко к качеству CD-систем. Внедряемый в радиоприем алгоритмический принцип первоначально был применен в военных системах связи.

Одно из достоинств *Symphony* – возможность улучшить радиоприем на дорогах за счет подавления отраженного от окружающих объектов сигнала, а также благодаря высокой избирательности приемника. Программная система может поддерживать точную настройку на выбранную частоту, даже если шумы превышают сигнал на 11 дБ.

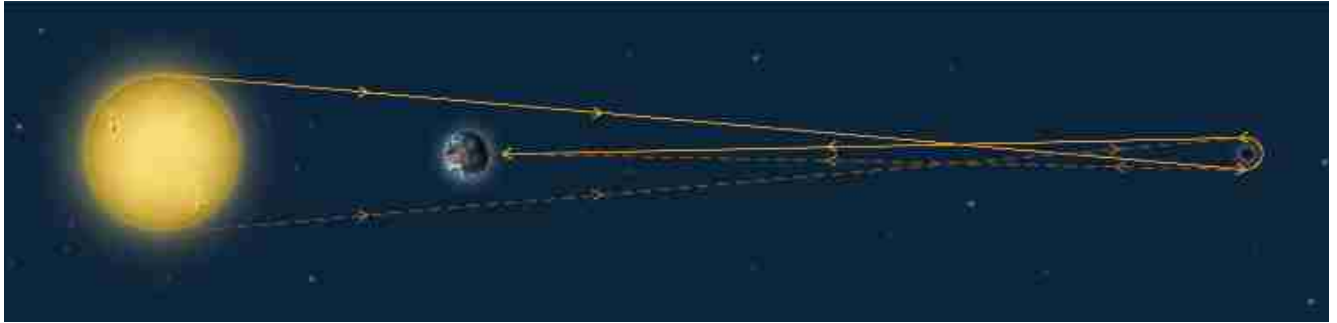
*Motorola* утверждает, что внедрение системы *Symphony* не приведет к существенному удорожанию автомагнитол. Южнокорейская *Hyundai Autonet* и ряд других компаний уже объявили о приобретении и внедрении технологии *Symphony* в автомобильные аудиосистемы. Ожидается, что они появятся на рынке к декабрю 2003 г. ■

Смешанные сигналы: при интерференции прямого и отраженного сигналов возникают многолучевые искажения.



# РАЗВОРОТ НА 180°

Джордж Массер



Что можно увидеть, если посветить фонариком в черную дыру? Мощное поле притяжения изогнет часть лучей и направит их обратно, а наблюдатель увидит тусклое, искаженное изображение фонарной лампочки. Астрономы давно уже отнесли этот экстремальный пример гравитационной линзы к явным курьезам – это хрестоматийный пример из учебника по теории относительности. И все же два физика настаивают, что это явление можно было бы наблюдать вочию. Даниель Хольц (Daniel E. Holz) из Калифорнийского университета в Санта-Барбаре и Джон Уилер (John

A. Wheeler) из Принстонского университета считают, что Солнце – подходящий фонарик. Черная дыра вблизи Солнечной системы могла бы раз в году несколько часов подряд проецировать тусклый солнечный свет на ночную сторону земной поверхности. Его могли бы зарегистрировать астрономы, занимающиеся непрерывным поиском гравитационных микролинз. Это была бы уникальная проверка теории Эйнштейна в экстремальных условиях черных дыр. Информация опубликована в 10-м октябрьском номере *Astrophysical Journal*. ■

Двойная петля: солнечный свет может обогнуть черную дыру и вернуться к Земле.

## КОММЕНТАРИЙ ЭКСПЕРТА

На вопрос «Какова вероятность обнаружить черную дыру по отраженному солнечному свету?», отвечает кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Государственного астрономического института им. П.К. Штернберга (МГУ) Владимир Сурдин.

Поворот луча света вблизи черной дыры, внешне напоминающий его отражение, – давно известный эффект общей теории относительности. Но детально рассмотреть его в приложении к реальным астрономическим объектам до сих пор никому не приходило в голову: из простейших оценок ясно, что эффективное сечение черной дыры солнечной массы как «зеркала» очень мало – порядка 1 км<sup>2</sup>. Так оно и оказалось: Даниель Хольц и Джон Уилер аккуратно показали, что при всех наилучших предположениях и на пределе возможностей сов-

ременной астрономии заметить отраженный свет можно будет только в том случае, если черная дыра приблизится к Солнечной системе менее чем на 0,01 парсека. По межзвездным меркам это очень близко: в 100 раз ближе альфы Центавра – ближайшей к нам звезды. Произойди это на самом деле, мы заметили бы приближение черной дыры по другим, гораздо более сильным эффектам, например по вызванным ею гравитационным возмущениям в движении внешних планет (Нептуна, Плутона) и астероидов в Поясе Койпера.

Что касается вероятности наблюдать это явление, то она очень мала: ближайшие черные дыры должны располагаться от нас в среднем на расстоянии 20–30 парсек. А если учесть, что они должны быть видны вблизи эклиптики (этого требует условие эффективного отражения), то становится ясно: вероятность такого события близка к нулю. ■





демократиях, как Индия или Южная Африка. По-видимому, это объясняется быстрым экономическим ростом КНР.

Не меньшую роль, чем экономическое развитие, могут играть некоторые религиозные традиции. Возможно, этим объясняется несколько более высокий уровень благополучия в протестантских скандинавских странах по сравнению с католическими Ита-

лией и Испанией. Западные страны в целом имеют более высокие показатели, чем страны вне Западного мира, однако не ясно, какую роль в этом играет религия.

К индивидуальным факторам, определяющим ощущение счастья, относятся хорошее здоровье, общительность и профессиональный успех. Разведенные и вдовцы менее счастли-

вы, чем те, кто никогда не был в браке, а последние менее счастливы, чем состоящие в браке. Исследование лиц, переживших Холокост, показало, что перенесенные в раннем возрасте страдания впоследствии вызывают ощущение несчастья. Вопреки мнению пессимистов, люди, живущие чуть лучше уровня простого выживания, как правило, счастливы. ■

## КАЧЕСТВО ЖИЗНИ

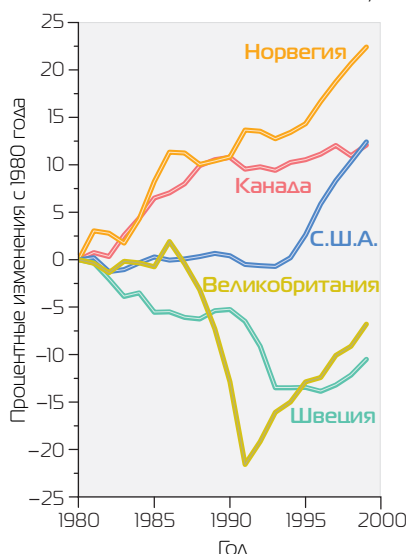
Правда ли, что лучше всего жить в Соединенных Штатах?

Роджер Дойл

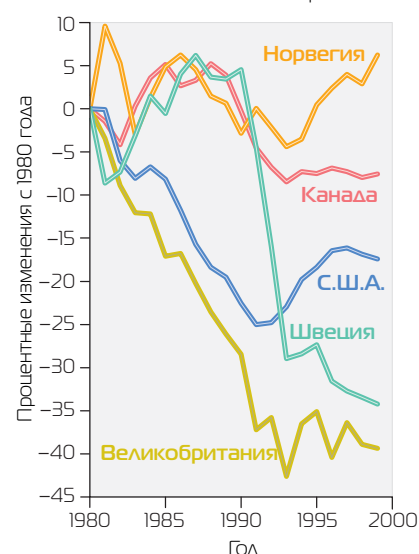
Стандартные экономические критерии, такие как доля валового продукта на душу населения и средний доход семьи, – не предназначены для оценки материальной стороны жизни. Они, к примеру, не учитывают неравенство доходов или вред, нанесенный окружающей среде. Чтобы получить полное представление о повседневной жизни людей, ученые используют синтетические показатели, сложные индексы. Наиболее точные индексы изобрели Ларс Осберг (Lars Osberg) из Университета Далхузи в Новой Шотландии и Эндрю Шарп (Andrew Sharpe) из Центра изучения стандартов жизни в Оттаве.

Они исследовали уровень жизни в 14 странах за определенный период времени, используя четыре показателя: потребление (частное и общественное), благосостояние (в том числе жилищные условия и затраты на охрану окружающей среды), социальное расслоение общества (с учетом различных уровней доходов и уровня нищеты) и социальные гарантии будущих доходов (с учетом риска безработицы или болезни). Согласно их данным, в пятерку лидеров

Показатель экономического благополучия



Показатель социальных гарантий



входят: Норвегия, США и Швеция. Интересно, что США, занимая второе место, с 1980 г. уступает Норвегии (см. левый график).

Колебания носят циклический характер и отражают изменения в экономической активности стран. Экономические тенденции зависят от множества различных факторов. ▶

Источник: Ларс Осберг, Эндрю Шарп, Центр изучения стандартов жизни.

Благоприятное положение Норвегии, к примеру, обусловлено высоким уровнем потребления, социальными гарантиями, в то время как менее выигрышное положение Швеции объясняется усилением социального расслоения общества и снижением уровня социальной защищенности при незначительном росте потребления.

Этот индекс не только отражает реальное положение в изучаемых странах, но и заставляет задуматься, почему США находятся на более низком уровне по сравнению с Норвегией. Одна из составляющих данного индекса содержит часть ответа (см. правый график). Это, в свою очередь, может указать и на другие несоответствия. К примеру, почему уровень финансовых гарантий в США

ниже, чем в Канаде, несмотря на то, что в США более здоровая экономика? Показатели социального расслоения общества наводят на размышления, почему этот уровень понижается во всех 14 странах.

Индексы Осберга–Шарпа измеряют средний уровень жизни, не давая информации о семьях с низким и высоким уровнями доходов. Экономист Тимоти Смидинг (Timothy M. Smeeding) из Сиракьюсского университета и социолог Ли Рейнуотер (Lee Rainwater) из Гарвардского университета исследовали этот аспект, оценив экономические перспективы для детей, в чьих семьях доход составляет 10%, 50% и 90% от валового дохода, – другими словами, речь идет о семьях с низким, средним и высоким дохо-

дом. Их данные охватывают 13 промышленных стран за период первой половины 1990-х и показывают, что США – самая удачная страна для детей из семей с высоким доходом, в то время как для детей из семей с низким доходом – самое лучшее место Норвегия, так как там семье выплачиваются существенные денежные субсидии. У детей из бедных семей в США перспективы хуже, чем у их ровесников во всех остальных странах, за исключением Великобритании. Перспективы для ребенка из семьи со средним доходом, тем не менее, лучше в США, чем в любой другой стране, за исключением Швейцарии и Канады (полную информацию по всем 13 странам можно посмотреть на сайте [www.sciam.com](http://www.sciam.com)). ■

# В БОЛЕЗНИ И ВО ЗДРАВЬИ

Здравоохранение должно уделять больше внимания семье, а не отдельным индивидам.

Дж. Минкел

Нет времени для обследований? Отправьте к докторам свою вторую половину, и состояние вашего здоровья будет предсказано так же точно, как уровень образования и доход. Свен Уилсон (Sven Wilson) из Университета Бригхэма Янга проанализировал данные по 4 700 супружеским парам в возрасте за пятьдесят. Он обнаружил, что больные мужчины чаще здоровых состоят в браке с женщинами, страдающими какими-либо заболеваниями. Только у 2% абсолютно здоровых мужчин жены чем-либо больны, и у 5% – полностью здоровы. Для сравнения: у 13% нездоровых мужей недомогают и жены, и у 24% прекрасные половины совершенно здоровы.

Несколько факторов способствуют такому соотношению: люди склонны вступать в брак с теми, кто на них похож, и супруги обычно одинаково относятся к диетам, алкоголю и курению. Не последнюю роль играют окружение и общие стрессы. Исследования Уилсона, опубликованные в сентябрьском номере *Social Science and Medicine*, наводят на мысль, что здравоохранение должно уделять больше внимания семье, а не отдельным индивидам. ■

# ТАК СЧАСТЛИВЫ ВМЕСТЕ

Чарлз Чой

Клетки могут прожить всю жизнь бок о бок, но так и не открыться друг другу. Слияние мембран – вопрос жизни и смерти, как в случае оплодотворения яйцеклетки, так и при заражении вирусом. Долгое время ученым не удавалось проследить процесс соединения сверхтонких клеточных оболочек. И вот исследователи из Брукхевенской национальной лаборатории и Университета Райса облучили рентгеновскими лучами стопку плоских обезвоженных мембран. На полученном изображении атомарной структуры были отчетливо видны образования в форме песоч-

ных часов, соединяющие поверхности мембран. Биологи уже давно предполагали, что для обмена молекулами, такими как ДНК, клетки вытягивают временные хоботки. Полученные данные подтверждают эту догадку и способствуют развитию генной терапии. Результаты исследований были опубликованы в 13-м сентябрьском выпуске *Science*. ■



## Подписано в печать

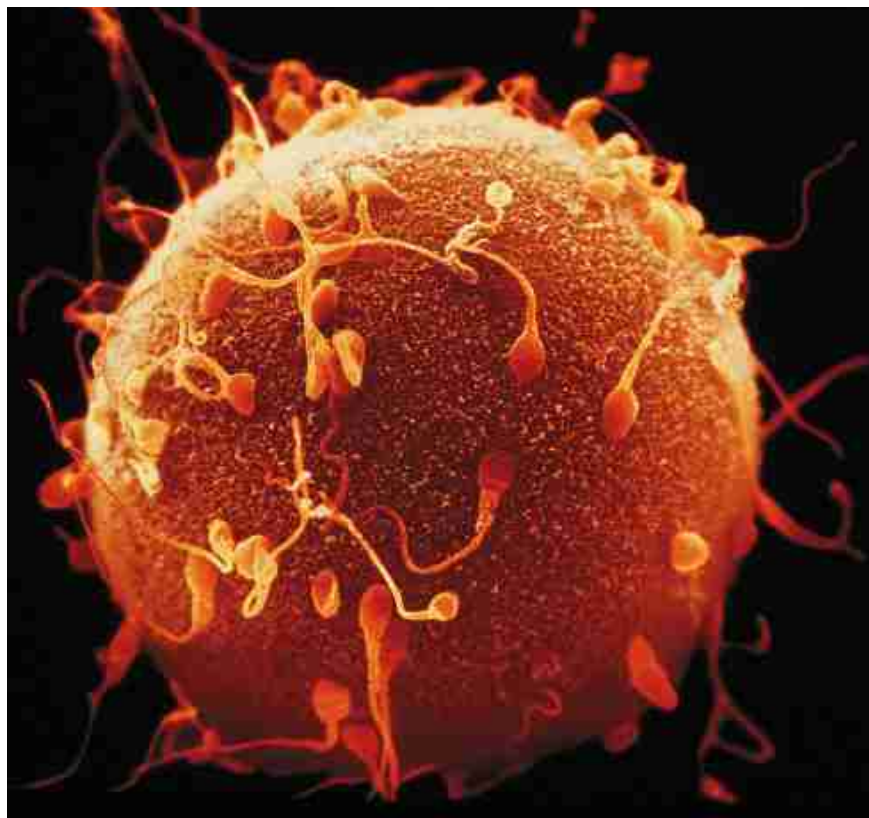
Плохие новости о научных провалах занимают в прессе целые колонки, особенно в Великобритании. Исследователи из Бристольского и Бернского университетов просмотрели 1 193 статьи в медицинских журналах и отобрали те из них, которые сопровождалась пресс-релизами и последующими публикациями в двух газетах. Отметим, что газеты не склонны описывать результаты случайных опытов, которые приводятся как научно обоснованные.

|   |    |
|---|----|
| Процент журнальных статей с пресс-релизами: | 43 |
| Процент газетных публикаций:                | 7  |

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| <b>Процент журнальных статей:</b> |      |
| с хорошими новостями              | 44,7 |
| с плохими новостями               | 37,5 |
| о продолжительных исследованиях   | 37,2 |
| о случайных опытах                | 24,7 |

|                                 |      |
|---------------------------------|------|
| <b>Процент газетных статей:</b> |      |
| с хорошими новостями            | 37,0 |
| с плохими новостями             | 51,9 |
| о продолжительных исследованиях | 58,0 |
| о случайных опытах              | 6,2  |

|  |       |
|--|-------|
| <b>Процент изданий, фокусирующих внимание на женском здоровье:</b> |       |
| журналы  | 12,11 |
| пресс-релизы   | 18,0  |
| газеты   | 30,9  |

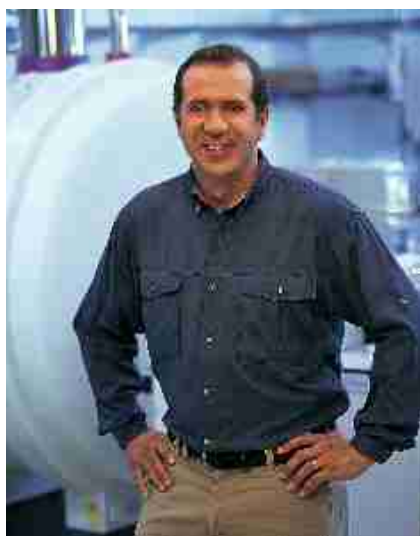


Оплодотворение яйцеклетки сперматозоидами сопровождается слиянием мембран.

# УНИВЕРСАЛЬНЫЙ БИОДАТЧИК

Фармацевтическая компания работает над созданием биодетектора, способного обнаружить практически любой патогенный микроорганизм.

Гэри Стикс



Новая жизнь сканирующего биодетектора широкого профиля компании *Ibis Pharmaceuticals* началась после того, как ее президенту Дэвиду Экеру пришла в голову гениальная мысль: метод, который используется для поиска веществ, связывающихся с РНК, подходит и для обнаружения патогенных микроорганизмов.

этих работ стало создание в компании отдела *Ibis Therapeutics*, в задачу которого входил поиск химических соединений, отличных от ДНК и тоже взаимодействующих с РНК.

Работая над этой проблемой, сотрудники отдела придумали метод скрининга патогенных микроорганизмов, который мог пригодиться при создании универсального детектора самого изощренного биологического оружия, например каких-нибудь новых штаммов патогенных микробов, созданных методами генной инженерии. Создание универсального биодетектора началось в середине 1990-х, когда в компании занялись поисками низкомолекулярных химических веществ, способных связываться с РНК и блокировать ее функционирование (именно так действуют многие антибиотики). Часть этих работ финансировалась управлением перспективного планирования научных исследований министерства обороны США (*DARPA*). Обычный широкомасштабный скрининг (поиск лекарственных средств, взаимодействующих с различными ферментами) не подходил, поскольку нужно было найти агенты, взаимодействующие с РНК. И тогда ученые решили использовать масс-спектрометрию: они надеялись таким образом обнаружить связывание малых молекул с РНК.

Для этого им пришлось усовершенствовать метод ионизации в струе, а также методику измерений, с тем чтобы можно было выделять РНК и исследуемое

вещество непосредственно из водного раствора и впрыскивать их в анализатор масс-спектрометра. Этот способ оправдал себя. Тогда президенту компании Дэвиду Экеру (David J. Ecker) пришла в голову гениальная мысль: выделять из раствора только РНК, без связывающегося вещества, и идентифицировать ее. Возможно, таким образом удастся создать высокочувствительную сенсорную систему.

Масс-спектрометрия – чрезвычайно чувствительный метод, позволяющий определять молекулярную массу с точностью до массы нескольких электронов. Измерив молекулярную массу клеточной РНК (в каждой клетке присутствует множество типов этих молекул), можно сопоставить ее с банком данных, в котором содержится информация о молекулярной массе РНК разных патогенных микроорганизмов. Каждое число в таблице базы данных соответствует массе суммарного числа нуклеотидов данной РНК. Если там есть информация о нуклеотидном составе РНК, то, используя систему *TIGER* (генетическая оценка рисков на основе триангуляционной идентификации), можно распознать любую бактерию, вирус или грибок. Но прежде чем «взвесить» РНК, необходимо с помощью полимеразной цепной реакции получить копии фрагментов ДНК или РНК, обнаруженных у всех клеточных организмов (а если речь идет о вирусах – то у всех их семейств).

Нередко случай оказывается самым лучшим изобретателем. Американская компания *Ibis Pharmaceuticals* и не помышляла о создании биодетекторов. Она была известна исследованиями в области «антисмысловой» терапии, основанной на использовании небольших фрагментов ДНК-подобных молекул, которые связываются с матричными РНК (рибонуклеотидными копиями гена) и блокируют синтез кодируемых ими белков. Результатом

За шесть месяцев до распространения в США спор сибирской язвы *Ibis* и ее партнер SAIC получили грант на \$10 млн. сроком на два года для доработки системы TIGER. Конечной целью было создание устройства, способного обнаруживать до 1500 патогенных микроорганизмов. Используемый подход принципиально отличался от тех, что лежат в основе уже работающих биодетекторов. У большинства из них чувствительным элементом служат антитела или фрагменты ДНК, специфически связывающиеся с белком или нуклеиновой кислотой патогенного микроорганизма. Подобные устройства идентифицируют лишь небольшое число из широкого спектра микробов. А антитело, специфичное, например, к спорам сибирской язвы, должно связываться с антигеном именно того штамма, на который биодетектор «настроен».

У TIGER есть одна важная особенность: если в банке данных отсутствует информация о каком-то патогенном агенте (например, потому, что это новый штамм или микроб, модифицированный генноинженерным путем), то



Микроскопическая точность: для определения молекулярной массы РНК микроорганизмов система TIGER использует масс-спектрометр.

присутствующих в образце (например, в комочке грязи). «Эту задачу можно решить только с помощью сложной системы обработки сигналов», – убежден Экер. Такая же проблема возникает в радиолокации. Именно поэтому партнером *Ibis* стала компания SAIC. Налаживание сотрудничества между молекулярными биологами из *Ibis* и специалистами по радарной связи из SAIC напоминало диалог между представителями разных культур. «Добрых полгода ушло на то, чтобы научиться понимать друг друга», – отмечает Экер.

TIGER распознавать «автографы» патогенных агентов зависит эффективность этой методики.

В апреле 2002 г. нобелевский лауреат Джошуа Ледерберг (Joshua Lederberg), один из научных консультантов *Ibis*, организовал конференцию в Рокфеллеровском университете. Обсуждалось, как различные правительственные организации могли бы использовать систему TIGER для решения тех или иных задач. Если все испытания пройдут успешно, то, по мнению Экера, детекторы в конце концов появятся в каждой больнице, клинике или диагностическом центре, а информация будет стекаться в единый центр по мониторингу. TIGER – исключительно мощная система, однако очень дорогая и громоздкая: один только масс-спектрометр стоит \$200 тыс.

Планы Экера не ограничиваются применением TIGER для борьбы с биотерроризмом. Эту систему можно использовать для обнаружения не только смертельно опасных микроорганизмов, но и любых возбудителей инфекций или их переносчиков.

У системы TIGER есть важная особенность: если в банке данных отсутствует информация о патогенном агенте, то специальная программа может выявить его генетическое сходство с известными организмами.

специальная программа может выявить его генетическое сходство с известными организмами. Компьютер даст примерно такой ответ: «Этот объект мне незнаком, но он очень похож на *Yersinia pestis* (возбудителя чумы)». К сожалению, детектор не может выявить абсолютно все генетические особенности организма, например, он не заметит гена токсина, введенного в какой-нибудь безобидный микроб.

Самая серьезная проблема в разработке биодетектора – как найти нужную РНК среди тысяч других, тоже

Он считает, что было совсем сложно определить, чем на самом деле являлся белый порошок, находившийся в конверте, отправленном в октябре 2001 г. на имя сенатора Тома Дашла, поскольку там содержались только споры сибирской язвы, и ничего другого. Гораздо труднее обнаружить небольшое количество вещества, перемешанного с другими молекулами органического происхождения. Исследователям пока не удалось создать достаточно совершенную систему обработки сигналов. От способности

С внедрением TIGER лабораториям не придется проводить трудоемкие анализы, чтобы выявить тот или иной микроорганизм – будь то вирус кори, палочка сибирской язвы или какой-то новый возбудитель. «Я думаю, что это многое изменит в микробиологии инфекционных заболеваний», – считает Экер. – Например, больше не придется выращивать культуры микроорганизмов». Таким образом, датчики биологического оружия смогут стать надежным щитом на пути самых разных болезней. ■

# ПАТЕНТ НА БЕСПЛАТНЫЙ СЫР

Вечное движение сменило название, но не методы.

Грэхем Коллинз

В последние годы сумасшедшие изобретатели разрабатывают очередные вечные двигатели – безэнергетические устройства или сверхцелостные генераторы. По идее, новые хитроумные приспособления должны вырабатывать больше энергии, чем получать, за счет доселе неизвестных науке источников энергии. Пример тому – неподвижный электромагнитный генератор, о котором шла речь в предыдущем номере (см. статью «Их не остановить» Грэхема Коллинза). Сначала создается впечатление, что его работа основана на неверной интерпретации свойств магнита. Затем выясняется, что изобретатели опубликовали научный доклад по физике, в котором описывается «высокосимметричная электродинамика», позволяющая устройству получать из вакуума бесконечную энергию.

Идея неограниченной энергии более конкурентоспособна, чем обыкновенное вечное движение. Многие пропагандисты сверхцелостности – мастера жульничества, устраивающие общественные мероприятия и телешоу с доверчивой массовой для привлечения инвестиций или продажи акций.

В области патентования вечное движение занимает особое место. До 1880 г. для выдачи патента США было необходимо предоставить миниатюрную работоспособную модель. С приходом индустриальной революции это требование стало бесполезным, и правило было отменено – за примечательным исключением для вечных двигателей.

«Функционирующие» модели сверхцелостных устройств время от времени дурачили искушенных в технике людей, в том числе и в Патентном бюро США. В чем причина подобной довер-

чивости? При резких перепадах напряжения или тока, а также при несовпадении их по фазе затруднена оценка электрической мощности с помощью измерительных приборов. В ходе судебного разбирательства 80-х гг. Джозеф Ньюман (Joseph W. Newman) выдвинул иск против Патентного бюро США, пытаясь изменить решение об отказе в регистрации его системы генерации энергии, в которой вырабаты-



ваемая энергия якобы больше получаемой. «Специальный эксперт» заключил, что проведенные в университетах тесты подтвердили избыток вырабатываемой энергии, и по распоряжению суда произвел в Национальном бюро стандартов новые испытания, показавшие, что эффективность работы машины никогда не превышала 80%.

Сейчас профессор машиностроительного факультета Роуэнского уни-

верситета ведет финансируемые NASA исследования для постройки и проведения испытаний ракетного двигателя на невидимом излучении. Невидимое излучение – продукт деятельности мозга доктора медицины Рэнделла Милза (Randell L. Mills). Основной его постулат – в атоме водорода электрон может перейти в состояние, которое будет ниже самых низких из допускаемых квантовой механикой, что якобы высвободит огромную энергию. В феврале 2000 г. Милзу был выдан патент на получение этой энергии.

Как только прогремела новость об исследовании в Роуэне, Американское физическое общество, как предпочитает называть свое течение Кинг Канут (King Canute), опубликовало заявление, выразив озабоченность по поводу «распространения неверных или мошеннических утверждений о вечных двигателях и прочих источниках бесконечной свободной энергии. Устройства такого рода прямо противоречат самым фундаментальным законам природы, тем, которые привели к научным достижениям, преобразующим мир».

По всей видимости, Патентное бюро США не интересуется общественное мнение. Однако член патентной комиссии собирается распорядиться о назначении повторной проверки патента на неподвижный электромагнитный генератор. Ранее было объявлено, что эксперты должны повысить уровень знаний. Конечно, все сотрудники Патентного бюро не могут быть Эйнштейнами, но, возможно, теперь среди них будет больше добросовестных стражей второго закона термодинамики. ■

# ПОД ГИПНОЗОМ МАГНЕТИЗМА

Магнитотерапия – уроки истории.

Майкл Шермер



11 августа 1997 г. в газете The World News Tonight опубликовано сенсационное сообщение о том, что «магниты – некая форма электрической энергии, которая эффективно воздействует на живые организмы». Кроме того, как уверяют продавцы «универсального чуда» (по \$89 за штуку), «магнетизм свойственен всем людям. В каждой клетке есть положительно и отрицательно заряженные стороны».

Действительно, в любом деле можно найти положительное и отрицательное. Так вот: с одной, положительной стороны, магниты настолько слабы, что не способны навредить. С другой – отрицательной – они обладают сверхъестественной силой, притягивающей кошельки американцев – примерно на сумму в \$300 млн. в год. Утверждается, что целебная мощь магнита безгранична, что благодаря присутствию железа в крови магнитные поля ускоряют циркуляцию крови и повышают уровень кислорода.

Все это – сплошное надувательство! В магните атомы железа плотно упакованы, в то время как каждая молекула гемоглобина содержит лишь четыре атома железа, разделенных большим расстоянием.

В 1997 г. 50 человек участвовали в эксперименте в Бейлорском медицинском колледже: 29 подопытных были подвергнуты воздействию настоящих магнитов, а 21 – их имитации. О смягчении боли сообщили 76% из первой группы и только 19% – из контрольной. Правда, опыт длился всего 45 минут, продолжительность ослабления боли не фиксировалась, а другие болеутоляющие средства не

применялись. К тому же повторных исследований не проводилось.

Сторонникам магнитотерапии будет интересно прочесть «Отчет уполномоченных королем к изучению животного магнетизма» (Report of the Commissioners Charged by the King to Examine Animal Magnetism) 1784 года, написанный по приказу короля Франции Людовика XVI. Он был составлен Бенджамином Франклином и Антуаном Лавуазье, которые решили на практике проверить, насколько верны утверждения немецкого врача Франца Антона Месмера, первооткрывателя «животного магнетизма». Месмер говорил, что подобно тому, как невидимая сила притягивает железную стружку к куску руды, так и неведомая мощь животного магнетизма пронизывает живые существа.

Экспериментаторы пытались намагнитить самих себя. Ничего не получилось. Для проверки нуль-гипотезы (магнетизм – плод воображения) исследователи внушали подопытным, что они подверглись воздействию животного магнетизма. Результаты однозначны – действует сила убеждения.

В другом эксперименте (всего их было 16) Франклин заставил представителя Месмера намагнитить дерево в саду, которое, по идее, должно так сильно воздействовать на человека,

что он может даже потерять сознание. Несчастный обнимал деревья до тех пор, пока не свалился в изнеможении у четвертого, а «намагнитенным» было пятое.

Одна женщина утверждала, что может определять «намагнитенную» воду. Лавуазье наполнил несколько чашек, «намагнитив» лишь одну. Выпив обычную воду, она торжественно заявила, что ей гораздо лучше.

Комиссия заключила, что доказательств существования флюидов «животного магнетизма» нет. Групповые опыты доказали, что чудесные исцеления – плод воображения.

Следует извлечь урок из этого исторического шедевра. Но сегодня печальная истина остается столь же верной, как и в XVIII веке: на тех, кто находится во власти заблуждений, не действуют реальные факты. ■

ОБ АВТОРЕ:

**Майкл Шермер** (Michael Shermer) – издатель журнала «Скептик» и автор книги «В тени Дарвина» (In Darwin's Shadow).

## ОТ РЕДАКЦИИ:

Не напоминает ли вам все это, уважаемый читатель, российскую действительность? Нам рассказывают про исцеляющие свойства циркониевого браслета, про чудо-таблетки для похудения, медные проволоки от радикулита, осинового полена еще для чего-то, и мы уже почти начинаем во все верить, пока здравый смысл и трезвый взгляд на вещи не берут верх.

# ОНА СЛУШАЕТ ЗВЕЗДЫ

Вероятность успеха ничтожна, но Джилл Тартер настойчиво пытается обнаружить признаки внеземного разума.

Наоми Любик

Джилл не решилась повесить в офисе свою фотографию с Джоди Фостер, сыгравшей роль мечтательной девушки-астронома Элли Эроуэй в фильме «Контакт». Многие ошибочно считают, что прообраз главной героини одноименного романа Карла Сагана была Тартер. Ей и самой так казалось: в ее жизни все было как в этом романе. Единственный ребенок в семье, отец

рано привил дочери интерес к науке, и она, как и Элли, посвятила свою жизнь поиску внеземного разума (*SETI*).

Сейчас Тартер, директор исследовательского центра Института *SETI* в Маунтин-Вью, штат Калифорния, занимается разработкой новых методов изучения радиосигналов, поступающих из различных уголков Вселенной. Еще в 50-х гг. было высказано

предположение о том, что жизнедеятельность любой технически развитой цивилизации сопровождается радиоизлучением. Возможно, кто-то из братьев по разуму посылает сигналы во Вселенную.

До сих пор никто их не мог принять, хотя порой в эфире среди естественных и искусственных шумов, казалось, слышался завораживающий зов. Однажды Джилл удалось обнаружить сигнал явно не природного происхождения. Увы! Это были всего лишь помехи от портативной радиостанции.

Сегодня Тартер руководит проектом по созданию новой антенной решетки Аллена, состоящей из 350 небольших спутниковых тарелок. Система будет развернута на площади около 15 тыс. кв. м в Хэт-Крике, штат Калифорния. Это один из первых радиотелескопов, задуманных для поиска внеземного разума. Скорость обзора в чрезвычайно широком частотном диапазоне будет в 100 раз выше, чем у современного оборудования.

Тартер всегда считали незаурядной личностью. В 60-х гг. Джилл оказалась единственной представительницей прекрасного пола на факультете машиностроения в Корнеллском университете. Ее предок, Эзра Корнелл, был его основателем, но тогда еще женщина не могла получать фамильную стипендию.

В те годы женские общежития запирали на ночь. «В студенчестве с трудом управлялась с домашними заданиями, – вспоминает Джилл. – Работая вместе, ребята распределяли нагрузку, а мне приходилось все делать самой. С одной стороны, благодаря самостоятельности я получила высокий уровень образования, – говорит она, –



## ДЖИЛЛ ТАРТЕР: В ПОИСКАХ НЕЗЕМНОГО РАЗУМА

- Она выросла в Скарсдейл, Нью-Йорк, ее предок основал Корнеллский университет.
- Любимый фильм – «Флэш Гордон».
- В июльском номере *Astronomical Journal* она пишет, что в Галактике не больше 10 000 цивилизаций с нашим уровнем технологического развития.
- «Я никогда не сомневалась, что звезды – это чьи-то солнца».



с другой стороны, подобная изоляция не научила меня работать в команде».

Интерес к технике постепенно угас, и дипломная работа Джилл была посвящена физике. Чтобы написать кандидатскую по астрономии, она переезжает в Калифорнийский университет в Беркли. Работая над диссертацией, Джилл растит дочку от первого брака с Брюсом Тартером, возглавлявшим Национальную лабораторию им. Лоуренса в Ливерморе. Последующая ее работа была посвящена «коричневым карликам» – термин, введенный в 70-х гг. для обозначения гипотетических планетоидных объектов.

Благодаря допотопному компьютеру Джилл Тартер занялась поисками внеземных цивилизаций. В аспирантуре она использовала его для цифровой обработки сигналов. А несколько лет спустя, когда астроному Стюарту Бойеру (Stuart Boyer) потребовался компьютер для проекта *SETI* (недостаток средств побудил Бойера искать дешевое оборудование), он обратился к Тартер.

Бойер показал ей доклад по проекту *NASA* «Циклоп», который был разработан под руководством Бернарда Оливера (Bernard Oliver) из Станфордского университета для создания систем поиска внеземной жизни. Джилл Тартер прочла за ночь увесистый том от корки до корки. Идея поиска внеземного разума увлекла ее. Она начала работать с Фрэнком Дрейком (Frank Drake), который в 1960 г. руководил первым американским проектом по этой теме «Озма». Уильям Уэлч, коллега Джилл, бывший ее учитель радиоастрономии, в 1978 г. стал вторым мужем Тартер. Астроном Джон Биллингем (John Billingham) пригласил ее в группу исследователей в *NASA*. В 1984 г. Тартер помогла преобразовать эту группу в Институт *SETI*. В 1993 г. она возглавила проект «Феникс», который всегда казался пасынком *NASA* отчасти из-за ассоциаций с «зелеными человечками». Но как ни парадоксально, отказ конгресса финансировать поиски внеземного разума дал проекту новую жизнь.

Выйдя из-под опеки чиновников *NASA*, Институт *SETI* функционирует



Антенная решетка Аллена (как изобразил ее художник) вступит в строй в 2005 г. Каждая антенна снабжена защитным экраном, поглощающим отражения от земли.

как некоммерческая организация. Текущее финансирование проектов осуществляется научными филантропами Полом Алленом (Paul G. Allen) и Натаном Мирволдом (Natan P. Myhrvold). Некоторые спонсоры сотрудничают с учеными, входят в совет, контролирующей результаты работы института. Даже скептики оценили усилия Джилл Тартер по частному финансированию.

Тартер пришлось преодолеть привычку работать в одиночку. Коллеги считают ее признанным и неутомимым лидером. Однако перенесенный ею рак груди внес изменения в жизнь. Пришлось на время отойти от руководства проектом «Феникс», поручая задания другим. Но как только лечение было закончено, Джилл вернулась к бурной деятельности, в том числе к работе в качестве консультанта фильма «Контакт».

Антенная решетка Аллена должна вступить в строй в 2005 г. и будет самым крупным вкладом Тартер в развитие научного оснащения. Благодаря прогрессу компьютерных и телекоммуникационных технологий стоимость этой решетки значительно ниже прежних. Так, каждая антенна Большой антенной решетки в Соккоро, Нью-Мексико, стоит \$1 млн., тогда как Институт *SETI* за-

платил лишь по \$32 тыс. за тарелку. Параболоиды диаметром 6,1 м образуют тщательно рассчитанную мозаику. Радиоастрономическая лаборатория в Беркли и *NASA* также будут принимать участие в руководстве телескопом.

Небольшие антенны более мобильны, чем 305-метровая тарелка в Аресибо, Пуэрто-Рико, где Джилл Тартер проводит основную массу наблюдений. Антенная решетка будет работать в диапазоне частот от 0,5 до 11,2 ГГц – в 20 раз более широком, чем у основной массы радиотелескопов. Благодаря этому будет достигнуто очень высокое разрешение и одновременно будет под наблюдением на несколько тысяч звезд больше, чем в проекте «Феникс».

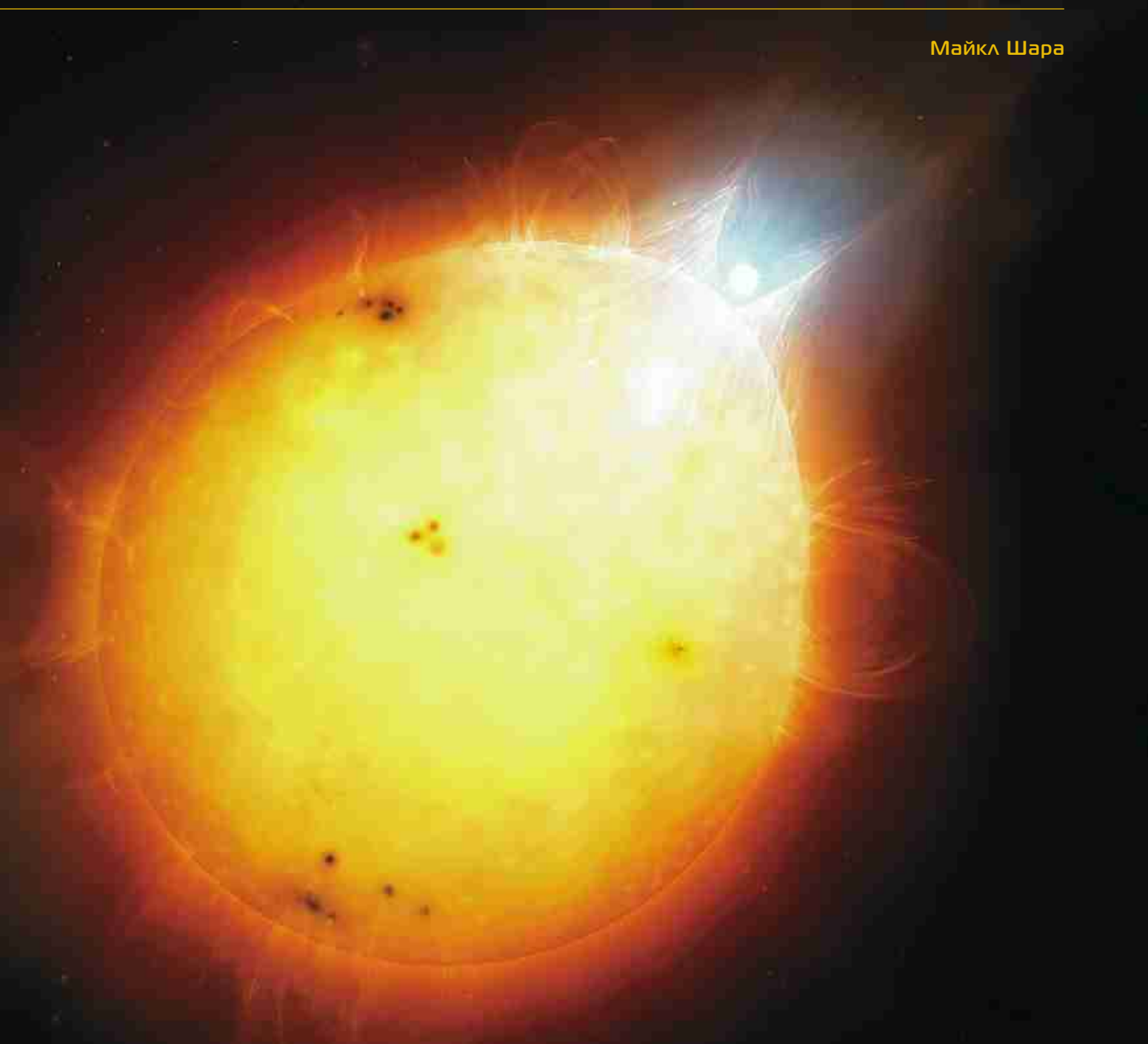
Джилл Тартер верит: поиск внеземного разума обречен на успех. Но, в отличие от Элли Эрроуэй, она понимает, что может не дожидаться столь желанного сигнала. Тем не менее она счастлива и планирует создать радиотелескоп еще больших размеров для будущих Элли Эрроуэй. ■

ОБ АВТОРЕ:

**Наоми Любик** (Naomi Lubick) живет в Пало-Алто, Калифорния.

КОГДА  
ЗВЕЗДЫ  
СТАЛКИВАЮТСЯ

Майкл Шара



**Столкновение двух звезд** – необыкновенное зрелище. Раньше оно считалось невозможным, но теперь известно, что для некоторых областей Галактики это обычное явление.

Не думаю, что кто-то мечтает увидеть подобное. Хотя диаметр белого карлика – меньше одной сотой диаметра Солнца, столкновение с ним вызовет катастрофическую последовательность событий. С приближением к Солнцу карлик начнет притягивать к себе его вещество, из-за чего светило станет похожим на грушу. К счастью, вероятность такого столкновения очень мала. Однако в более плотных частях Галактики, например в шаровых звездных скоплениях, такие события происходят довольно часто.

Из всех возможностей уничтожения жизни на Земле столкновение Солнца с другой звездой – самая драматичная. Если налетающим объектом будет белый карлик (сверхплотная звезда, в которой масса, близкая к массе Солнца, сосредоточена в объеме диаметром всего в одну сотую его диаметра), земляне смогут насладиться зрелищем великолепного фейерверка. Белый карлик врежется в Солнце со скоростью 600 км/с, вызвав мощную ударную волну, которая сожмет и разогреет его до температуры, превышающей температуру возбуждения термоядерной реакции. Карлик пронзит светило насквозь всего за час, но последствия будут необратимыми. За это время Солнце выделит столько термоядерной энергии, сколько оно обычно выделяет за 100 млн. лет. Возросшее давление выбросит газ со скоростью, намного превышающей скорость убегания, и за несколько часов Солнце полностью разрушится. А виновник катаст-

рофы – белый карлик – беззаботно продолжит свой путь.

В отдаленном будущем Солнце (и Землю) могут ожидать разные бедствия, но столкновения с другой звездой – не из их числа. Простые расчеты британского астрофизика Джеймса Джинса (James Jeans), сделанные в начале XX в., позволяют утверждать, что ни одна из 100 млрд. звезд в диске нашей Галактики не сталкивалась с другой звездой.

Но выводы Джинса применимы лишь к окрестностям Солнца, где межзвездные расстояния огромны, а в других частях Галактики столкновения возможны. Плотные звездные скопления – вот поистине котел, где происходят катастрофы. В последние годы здесь обнаружены тела, которые могли возникнуть только в результате разрушения звезд. Длительную эволюцию звездных скоплений могли нарушить столкновения звезд, и наиболее мощные из них можно наблюдать на пути к границам Вселенной.

### Мир, где звезда пожирает звезду

Открытие квазаров в 1963 г. побудило исследователей обратить особое внимание на столкновения звезд. Многие из квазаров излучают столько энергии, сколько 100 трлн. Солнц, а поскольку некоторые из них меняют яркость меньше чем за сутки, области, где порождается их энергия, должны иметь размеры не больше расстояния, которое может пройти свет за сутки, – это примерно размер нашей Солнеч-

ной системы. Астрономы задались вопросами: если миллионы звезд сосредоточить в таком незначительном объеме, будут ли они сталкиваться между собой? Могут ли подобные столкновения вызывать выделение столь огромных энергий?

К 1970 г. стало ясно, что ответ на второй вопрос отрицательный. Не могут столкновения звезд объяснить и образование узких струй, истекающих из центральных областей многих квазаров, где генерируется энергия. Ответственность за это была возложена на сверхмассивные черные дыры. Правда, некоторые исследователи недавно высказали предположение, что столкновения звезд могут поставлять вещество в эти черные дыры.

Если ученые, изучающие внегалактические области Вселенной, отвергли возможность столкновения звезд, то их коллеги, занимающиеся Галактикой, признали ее. Спутник *Uburu*, запущенный в 1970 г. для поиска источников рентгеновского излучения, ▶



обнаружил в Галактике около 100 таких источников. Целых 10% из них находятся в наиболее плотных шаровых звездных скоплениях, которые включают в себя лишь 0,01% всех звезд Галактики. Таким образом, число рентгеновских источников в этих скоплениях по какой-то причине непропорционально велико.

Что представляют собой рентгеновские источники? Предположим, что каждый из них – это пара звезд, одна из которых умерла и сжалась, превратившись в нейтронную звезду или черную дыру. Она пожирает звезду-партнера, втягивая в себя ее вещество, и тем самым нагревает газ до столь высокой температуры, что он начинает испускать рентгеновское излучение. Такие патологические пары редки. Лишь в одном случае из миллиарда совместная эволюция двух новорожденных звезд приводит к образованию яркой двойной рентгеновской системы.

Как происходящее в шаровых скоплениях может объяснить эти противоречия? Стало ясно, что решающий фактор – высокая концентрация звезд. В радиусе всего нескольких десятков световых лет сосредоточены миллионы звезд (в таком же объеме в окрестностях Солнца находится лишь несколько сотен). Как пчелы в рое, они движутся по непрерывно изменяющимся орбитам. Звезды небольших масс, накопившие в ходе взаимодействия с более массивными одиночными и двойными достаточную энергию, могут выбрасываться за пределы скопления. Этот процесс называют испа-

рением, поскольку он напоминает вылет молекул с поверхности жидкости. Оставшиеся звезды, потерявшие часть энергии, собираются ближе к центру скопления. По прошествии определенного времени они начинают сталкиваться между собой.

Даже в шаровых скоплениях расстояния между звездами очень велики по сравнению с их размерами. Однако в 1975 г. Джек Хилс (Jack G. Hills) и Кэрол Дей (Carol Day), работавшие тогда в Мичиганском университете, доказали, что вероятность столкновения определяется не только размерами звезд. Поскольку в шаровых скоплениях они движутся с малой (по космическим меркам) скоростью, всего в 10–20 км/с, гравитационные силы могут действовать во время сближения достаточно долго. Столкновение может произойти только при условии, что они летят прямо друг на друга. Под действием же гравитационных сил каждая звезда притягивается к другой, в результате чего их траектории сближаются. Из баллистических снарядов, летящих по заданным траекториям, они превращаются в управляемые снаряды, наводящиеся друг на друга. В результате вероятность столкновения увеличивается в 10 тыс. раз. Возможно, что за прошедшие 13 млрд. лет около половины звезд в центральных областях некоторых шаровых скоплений претерпели одно или даже несколько столкновений.

Эндрю Фабиан (Andrew C. Fabian), Джеймс Прингл (James E. Pringle) и Мартин Рис (Martin J. Rees) из Кембриджского университета высказали

предположение, что касательное столкновение или очень близкий пролет двух тел могут привести к тому, что две отдельные звезды образуют двойную. (Обычно близкое взаимодействие двух звездных тел симметрично: они сближаются, набирают скорость, проносятся мимо и, когда не задевают друг друга, расходятся.) Но если одно из них – нейтронная звезда или черная дыра, ее мощное гравитационное поле может деформировать другое тело, отобрав часть его кинетической энергии и не дав ему улечь. Такой процесс называют приливным захватом. Нейтронная звезда или черная дыра наслаждается своей добычей, испуская рентгеновские лучи.

Если во взаимодействии участвуют не две, а три звезды, вероятность образования рентгеновской двойной еще больше. Динамика взаимодействия трех тел очень сложна и в некоторых случаях хаотична. В этом случае звезды обычно перераспределяют свою энергию таким образом, что две более массивные образуют пару, а самая легкая удаляется прочь. Типичная ситуация: одиночная нейтронная звезда подлетает слишком близко к обычной двойной. Одна из составляющих этой двойной звезды улетает, а нейтронная занимает ее место, образуя рентгеновский источник. В итоге динамика трех тел и приливный захват приводят к 1000-кратному увеличению частоты образования рентгеновских источников в шаровых звездных скоплениях, что разрешает противоречие, выявленное спутником *Uburu*.

## ОБЗОР: СТОЛКНОВЕНИЯ ЗВЕЗД

- Необходимо пересмотреть учебники. Вопреки здравому смыслу, стало ясно, что в звездных скоплениях могут происходить столкновения. Особенно это касается шаровых звездных скоплений, где концентрация звезд велика и гравитационные силы увеличивают вероятность таких столкновений.
- О существовании столкновений звезд свидетельствуют факты. Во-первых, в шаровых звездных скоплениях существуют звезды, называемые голубыми бродягами, происхождение которых объясняется столкновениями звезд. Во-вторых, шаровые скопления содержат аномально большое количество рентгеновских источников, которые, вероятнее всего, являются продуктами столкновений звезд.

## Варианты столкновений

Что происходит, когда сталкиваются две звезды? Как и в автомобильной аварии, результат зависит от многих факторов: скорости соударения, внутренней структуры сталкивающихся объектов и параметров удара (лобовой или касательный удар). В одном случае у машины бывает повреждено крыло, в другом – транспортное средство не подлежит восстановлению.

Лобовые соударения на больших скоростях наиболее эффективно превращают кинетическую энергию в тепло и давление, что приводит к полному разрушению объекта.

Для подробного изучения столкновений астрономы применяют супер-

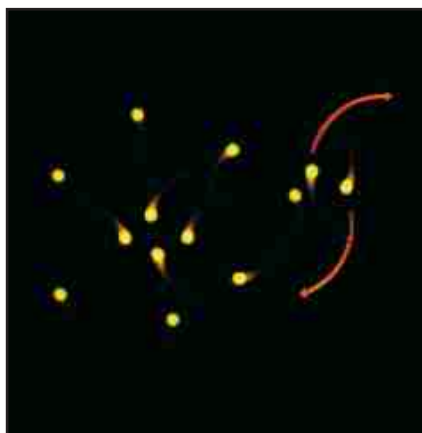
компьютеры, но общий эффект определяется несколькими простыми принципами. Самую важную роль играет различие плотностей. Более плотная звезда получает меньшие повреждения, подобно тому, как на пушечном ядре не останется следов

при столкновении с арбузом. Первое исследование лобового столкновения (например, Солнца и белого карлика) было проведено мною и коллегами в 1970–80-х гг. Гиора Шавив (Giora Shaviv) и Оded Ревев работали тогда в Тель-Авивском университете, ▶

## Процессы, увеличивающие вероятность столкновений звезд

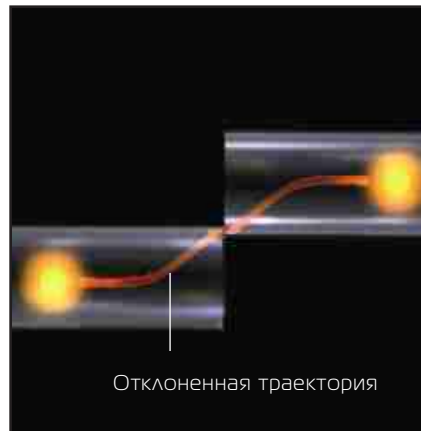
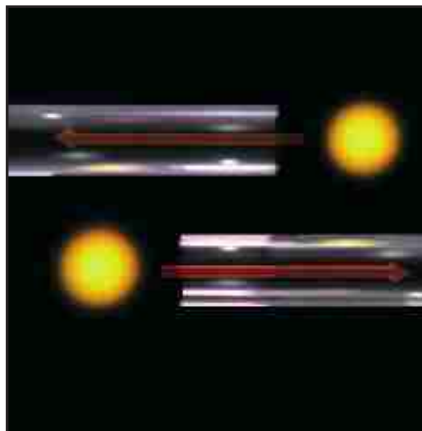
### Испарение

Звезды в шаровых звездных скоплениях напоминают пчелиный рой. Когда 3–4 звезды сближаются друг с другом, происходит перераспределение энергии. Как следствие – одна из звезд может оказаться за границей скопления. При этом оставшиеся звезды сближаются еще теснее и начинают сталкиваться между собой. Этот процесс занимает обычно несколько миллиардов лет.



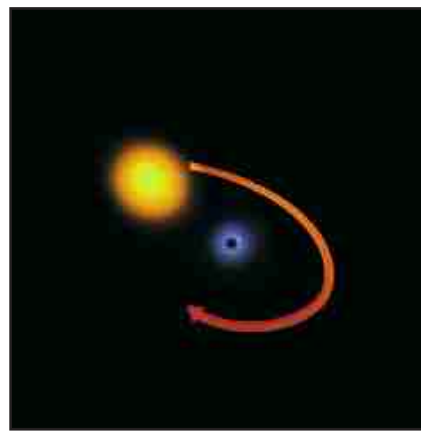
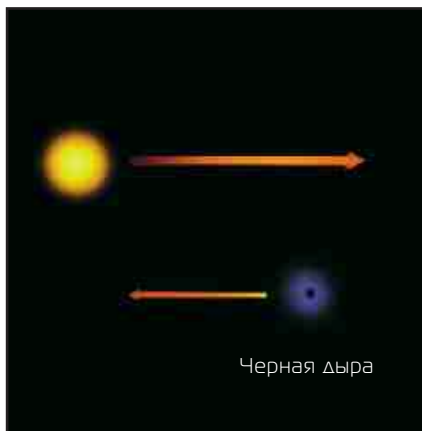
### Гравитационное притяжение

В космическом масштабе звезды представляют собой слишком маленькие мишени, чтобы столкнуться. Каждая из них перемещается в очень узком коридоре в пространстве, и, на первый взгляд, вероятность их пересечения ничтожно мала. Однако гравитационные силы делают звезды более крупными мишенями, отклоняя пути всех приближающихся к ним объектов. В итоге каждая звезда контролирует коридор, поперечник которого во много раз больше диаметра самой звезды, что увеличивает вероятность их пересечения, и следовательно, столкновения звезд.



### Приливный захват

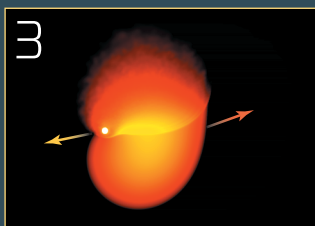
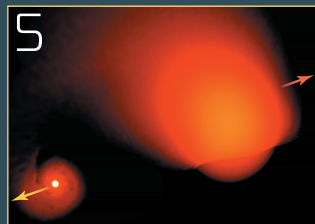
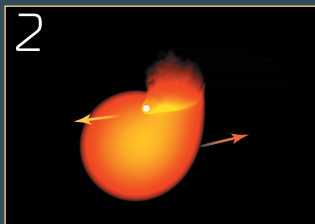
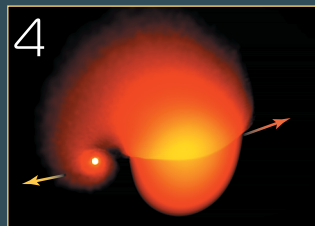
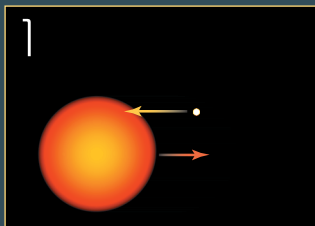
Черная дыра или нейтронная звезда – еще меньшие мишени, чем обычная звезда. Но они могут создавать мощные приливные эффекты, которые деформируют пролетающую поблизости звезду. В результате такой деформации происходит рассеяние энергии, что может заставить перейти две звезды на орбиты вокруг их общего центра масс. В таком случае столкновение становится лишь вопросом времени, поскольку последующие близкие прохождения будут приводить к дальнейшему отбору энергии орбитального движения.



# Результаты столкновений

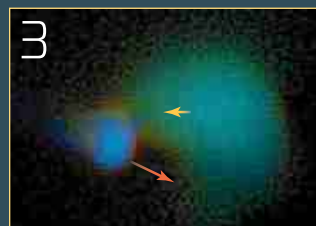
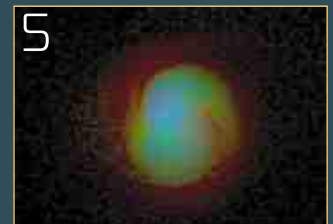
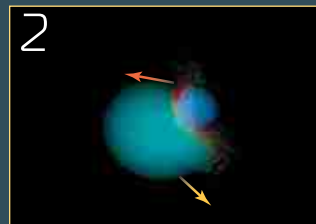
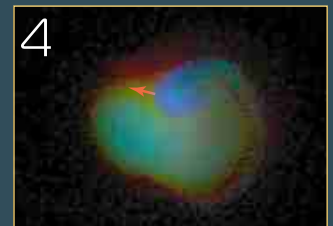
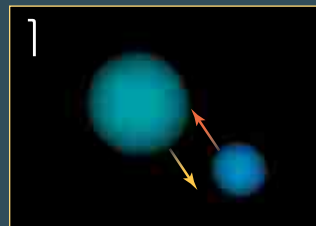
|                                   | Сверхгигант   | Красный гигант  | Звезда главной последовательности        | Коричневый карлик   | Белый карлик                             | Нейтронная звезда                        | Черная дыра |
|-----------------------------------|---|---|--|---|--|--|-------------|
| Черная дыра                       | Черная дыра + диск + белый карлик                       | Черная дыра + диск + белый карлик                       | Черная дыра + диск                       | Черная дыра + диск  | Черная дыра + диск                       | Черная дыра + диск                       | Черная дыра |
| Нейтронная звезда                 | Нейтронная звезда или черная дыра + диск + белый карлик | Нейтронная звезда или черная дыра + диск + белый карлик | Нейтронная звезда или черная дыра + диск | Нейтронная звезда или черная дыра + диск  | Нейтронная звезда или черная дыра + диск | Нейтронная звезда или черная дыра + диск |             |
| Белый карлик                      | Белый карлик + белый карлик                             | Белый карлик + белый карлик                             | Белый карлик                             | Белый карлик или нейтронная звезда  | Нейтронная звезда или белый карлик       |  |             |
| Коричневый карлик                 | Коричневый карлик + белый карлик                        | Коричневый карлик + белый карлик                        | Звезда главной последовательности        | Звезда главной последовательности или коричневый карлик   |  |  |             |
| Звезда главной последовательности | Звезда главной последовательности + белый карлик        | Звезда главной последовательности + белый карлик        | Звезда главной последовательности        | Имеется семь основных типов звезд, самые плотные из которых – черные дыры, а наименее плотные – сверхгиганты. Наше Солнце относится к звездам главной последовательности. В приведенной таблице показаны результаты столкновений для 28 различных сочетаний типов звезд. Для многих сочетаний столкновения могут иметь разные исходы в зависимости от скорости соударения, угла и других параметров. Результаты, представленные в таблице, соответствуют столкновениям с умеренной скоростью и глубоким проникновением. Под таблицей показаны два примера таких столкновений. |  |  |             |
| Красный гигант                    | Белый карлик + белый карлик                             | Белый карлик + белый карлик                             |  |   |  |  |             |
| Сверхгигант                       | Белый карлик + белый карлик                             |   |  |   |  |  |             |

Белый карлик налетает на красный гигант



Белый карлик пролетает сквозь раздувшийся красный гигант примерно за месяц. Он выходит из столкновения невредимым и уносит с собой часть газа гиганта. Сам же гигант разваливается на части, хотя его ядро остается неповрежденным, и превращается в другой белый карлик.

Столкновение двух звезд главной последовательности



Косое соударение двух обычных звезд различной масс. Меньшая звезда имеет меньшую массу, но плотнее, поэтому она дольше остается неповрежденной. Примерно за час она погружается в более крупную звезду, в результате чего образуется одна быстро вращающаяся звезда. Часть общей массы двух исходных звезд рассеивается в межзвездном пространстве.

а сегодня трудятся в израильском Технологическом университете «Технион» в Хайфе. Мы выяснили, что солнцеподобная звезда при таком столкновении уничтожается, а белый карлик, который в 100 млн. раз плотнее, продолжает свой полет, не претерпев никаких изменений, кроме умеренного нагрева внешних слоев и аномального повышения количества азота на поверхности.

При касательном столкновении белому карлику труднее «замести следы». Это показало моделирование, которое провели я, Овед Ревег и Ноам Сокер (Noam Soker) в Университете Хайфы в Ораниме, в Виргинском университете, а также Марио Ливио (Mario Livio) из Института космического телескопа. Разрушенная солнцеподобная звезда может образовать массивный диск на орбите вокруг карлика. Существование таких дисков пока не доказано, но астрономы могут ошибочно принимать их за обменивающиеся массами двойные звезды в скоплениях.

При столкновении звезд одного типа, одной плотности и одного размера события развиваются совершенно иначе. В 1970-х годах моделирование столкновения двух солнцеподобных звезд провели Аластер Камерон (Alastair G. W. Cameron), который сейчас работает в Аризонском университете, и Фредерик Зейдл (Frederick G. P. Seidl) из Института космических исследований им. Годдарда NASA. Когда сферические звезды сталкиваются, они сжимают и деформируют друг друга, принимая форму полушарий. При этом температуры и плотности никогда не достигают значений, необходимых для возбуждения разрушительного термоядерного горения. Небольшая доля общей массы столкнувшихся звезд выбрасывается перпендикулярно направлению их взаимного движения, а основная часть массы смешивается. Примерно за один час обе звезды сливаются воедино.

Касательное соударение вероятнее лобового. Чаще всего массы сталкивающихся звезд различны. Подобный типичный случай исследовали

Вилли Бенц (Willy Benz) из Бернского университета в Швейцарии, Фредерик Расио (Frederick A. Rasio) из Северо-Западного университета и Джеймс Ломбарди (James S. Lombardi) из Вассарского колледжа. Касательное соударение – это красивый брачный танец, переходящий в вечный союз двух звезд.

Возникший объект кардинально отличается от одиночной звезды вроде Солнца, которая не может пополнять имевшийся в ней изначально запас топлива. Срок жизни солнцеподобной звезды предопределен: чем она массивнее, тем горячее и тем быстрее сжигает себя. Цвет характеризует ее температуру; именно он помогает компьютерным программам, моделирующим поведение звезды и выработку в ней энергии, с большой точностью предсказать срок ее жизни. Но звезда, образовавшаяся в результате слияния, не подчиняется этому общему правилу. Перемешивание двух слоев газа в процессе соударения может добавить свежую порцию водорода в ядро, омоложив звезду, как подбрасывание веток в угасающий костер помогает ему вновь разгореться. Поскольку образовавшийся объект массивнее, чем его «родители», он оказывается более горячим, более голубым и более ярким. Наблюдатели, которые будут определять его возраст по цвету и яркости, ошибутся.

Например, полный срок жизни Солнца составляет около 10 млрд. лет. Звезда вдвое большей массы в 10 раз ярче его, а продолжительность ее жизни составляет всего около 800 млн. лет. Поэтому, если две звезды, подобные Солнцу, прожив полжизни, столкнутся, они образуют единую горячую звезду, имеющую в момент своего образования возраст примерно в 5 млрд. лет, но ее вид будет соответствовать возрасту менее 800 млн. лет. При этом отпущенный ей срок будет зависеть от того, какое количество водорода попало в ядро в результате соударения. Обычно это время оказывается намного меньше, чем у «родителей». Даже своей смертью такая звезда отлича-

ется от других. Умирая, она сначала раздувается в красный гигант, затем превращается в планетарную туманность и в итоге становится белым карликом, который намного горячее других, более старых карликов сравнимой массы.

### Становимся голубыми

В шаровом скоплении звезды, рожденные в результате слияния, стоят несколько особняком. Все прочие члены скопления образовались примерно в одно и то же время, а затем их температуры и яркости закономерно изменялись. Однако звезда, образовавшаяся в результате слияния, выпадает из общего синхронизма. Она выглядит неестественно молодой, сохранившейся, тогда, как другие звезды такой же яркости и такого же цвета уже сошли со сцены. Их существование в ядрах плотных звездных скоплений – одно из самых замечательных предсказаний теории столкновений звезд.

Еще в начале 1950-х Аллан Сендидж (Allan R. Sandage) из Вашингтонского института Карнеги обнаружил в шаровых скоплениях аномально горячие и яркие звезды, которые стали называть голубыми бродягами (blue stragglers). За многие годы ученые предложили более десятка теорий происхождения этих звезд. Однако лишь в прошлом десятилетии наблюдения с помощью космического телескопа «Хаббл» дали убедительные свидетельства их связи с соударениями звезд.

В 1991 г. Франческо Пареше (Francesco Paresce), Джордж Мейлан (George Meylan) и я, работая в Институте космического телескопа, обнаружили, что центр шарового звездного скопления 47 Тукана переполнен голубыми бродягами. А именно здесь, согласно теории соударений, они должны существовать в наибольшем количестве. Шестью годами позже Дэвид Зурек (David Zurek) из Института космического телескопа, Рекс Саффер (Rex A. Saffer) из Университета в Вильянуэва и я провели первое прямое измерение массы голубого ▶

Последствия столкновения Солнца с белым карликом. Солнце взрывается, как гигантская термоядерная бомба, и от него остается газовая туманность. Небольшая часть массы Солнца собирается в диск вокруг белого карлика, который продолжает свой полет. Земля сохраняется, но ее атмосфера и океаны испаряются. Гравитационное поле центральной звезды (Солнца) больше не удерживает планеты, и они улетают в межзвездное пространство, где кочуют по всей Галактике.





бродяги. Она оказалась вдвое больше массы наиболее массивных нормальных звезд в скоплениях, как и ожидалось в случае, если эта звезда образовалась в результате соударения двух звезд. Саффер с коллегами обнаружили еще одного голубого бродягу, масса которого оказалась втрое больше массы обычных звезд скопления. Иной возможности образования столь массивного объекта в данной

гравитационно-волновых обсерваториях. Близкие взаимодействия между объектами с массами, соответствующими массам звезд, должны вызывать искажения континуума пространства-времени. Сигнал должен быть особенно сильным при столкновении черных дыр или нейтронных звезд (см. W. Wayt Gibbs, *Ripples in Spacetime*, SA, April 2002). Огромные выбросы энергии, воз-

звездному скоплению или даже оказаться выброшенными за его пределы. Наблюдения Рона Гиллиланда (Ron Gilliland) и сотрудников из Института космического телескопа, выполненные с помощью телескопа «Хаббл», показали, что у звезд из ближайшего звездного скопления нет планет, близких по размеру к Юпитеру, хотя причина этого остается пока не вполне понятной.

## Мнимое спокойствие ночного неба скрывает Вселенную невообразимой разрушительной мощи, в разных местах которой ежечасно сталкиваются тысячи пар звезд.

среде, кроме слияния в результате соударения, астрономы не знают.

Сейчас мы измеряем массы и моменты количества движения десятков голубых бродяг. Тем временем наблюдатели ищут другие предсказанные эффекты соударений. Так, Джордж Джорговски (S. George Djorgovski) из Калифорнийского технологического института и его коллеги обнаружили явную нехватку красных гигантов вблизи ядер шаровых звездных скоплений. Поперечные сечения у красных гигантов в тысячи раз больше, чем у Солнца, поэтому эти огромные мишени при соударениях теряют внешние оболочки и переходят в другой класс.

Разумеется, все это косвенные свидетельства. Среднее время между столкновениями в 150 шаровых звездных скоплениях в нашей Галактике – около 10 тыс. лет. В остальной ее части оно измеряется миллиардами лет. Чтобы астрономы при нынешнем уровне развития техники могли непосредственно наблюдать столкновение, оно должно произойти на расстоянии не более нескольких миллионов световых лет. В ближайшее время наблюдения за столкновениями звезд начнутся в

можно, приводят к уже наблюдавшимся вспышкам гамма-излучения. (Статья о гамма-вспышках будет опубликована в одном из последующих номеров. – **Прим. ред.**)

Компьютерное моделирование показывает, что эволюция звездных скоплений в большой степени управляется тесными двойными системами, которые обмениваются энергией и моментом количества движения со всем звездным скоплением в целом. Поскольку близкие взаимодействия одну за другой выбрасывают звезды за пределы скопления, оно может вообще исчезнуть. Пит Хат (Piet Hut) из Института передовых исследований в Принстоне и Элисон Силлз (Alison Sills) из Университета Макмастера в Онтарио утверждают, что звездная динамика и эволюция звезд влияют друг на друга посредством слабой обратной связи.

Интересны судьбы планет, чьи звезды испытали близкое взаимодействие. Численные расчеты Джэррода Харли (Jarrod R. Harley) из Американского музея естественной истории показали, что планеты часто поглощаются породившей их звездой или одной из сестер-планет. Они могут пуститься в дрейф по

Действительно, поразительны успехи в изучении столкновений звезд. Ранее одна мысль о такой возможности казалась нелепой, сегодня изучение этих столкновений стало одним из основных направлений астрофизики. Мнимое спокойствие ночного неба скрывает за собой Вселенную почти невообразимой разрушительной мощи, в разных местах которой ежечасно сталкиваются тысячи пар звезд. Современные возможности позволяют наблюдать такие столкновения. Мы станем очевидцами насильственной гибели одних и возрождения в процессе столкновения других подобно Фениксу. ■

ОБ АВТОРЕ:

**Майкл Шара** (Michael Shara) мечтал стать астрономом с семи лет, наблюдая звезды в старый военный бинокль. Сегодня он возглавляет отдел астрофизики Американского музея естественной истории в Нью-Йорке. До этого он 17 лет проработал в Институте космического телескопа, где руководил обработкой и анализом данных, полученных с помощью космического телескопа «Хаббл».

# ГДЕ СТАЛКИВАЮТСЯ ЗВЕЗДЫ

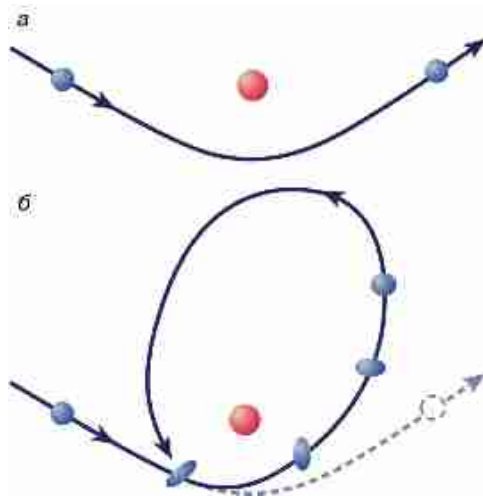
В. Г. Сурдин

Взаимодействие звезд друг с другом – увлекательная тема, время от времени привлекающая пристальное внимание астрофизиков. Впервые это случилось в начале XX века, когда развитие теории приливов привело Джеймса Джинса к оригинальной идее о рождении нашей планетной системы в результате касательного столкновения Солнца с другой звездой. Предполагалось, что при этом между Солнцем и налетевшей звездой формируется приливная переемычка, часть вещества которой выходит на орбиту вокруг Солнца и образует планетную систему. В том виде, как предложил Джинс, теория не подтвердилась: в окрестности Солнца тесные сближения звезд невероятно редки, да и случись такое сближение, выброшенное звездами вещество, как показали расчеты, рассеялось бы, не образуя планет.

Тем не менее идея Джинса обрела в наши дни второе дыхание. Оказалось, что звезды галактического диска, подобные нашему Солнцу, могут испытывать тесные сближения в период своей ранней молодости. Формирование звезд происходит в очень плотных ядрах гигантских межзвездных газовых облаков. Вскоре после своего рождения звезды своим излучением разрушают эти «коконы» и покидают их, но до этого многие из них успевают сблизиться друг с другом и оставить о себе память. Например, разрушить внешнюю часть или изменить ориентацию протопланетного диска, окружающего звезду. Вполне вероятно, что наклон плоскости нашей планетной системы к экватору вращения Солнца (около 7 градусов) – как раз память о таком событии.

Второй раз астрономы заинтересовались случайными сближениями звезд в конце 30-х гг., когда Виктор Амазаспович Амбарцумян (СССР), Лайман Спитцер и Субраманьян Чандрасекар (США) доказали, что обмен энергией между звездами в процессе их сближения служит главным механизмом эволюции звездных скоплений. Идея пришла из кинетической теории газа: подобно сталкивающимся молекулам, сближающиеся звезды своим притяжением резко и непредсказуемо изменяют траектории друг друга, а вместе с этим и энергию своего движения. Те из звезд, которые немного «притормозили», опускаются к центру скопления, а те, что разогнались, – уходят на периферию скопления или вообще покидают его.

Этот процесс, напоминающий испарение молекул из блюдца с водой, в мире звезд приводит к своеобразным последствиям. Например, испарение жидкости вызывает охлаждение оставшейся в блюдце воды, а «испарение» звезд ведет к разогреву скопления. Дело в том, что большую часть жизни звездное скопление проводит в уединении, и его можно считать изолированным. Не имея внешнего источника энергии, такое скопление вынуждено пользоваться внутренним источником, т.е. собственным гравитационным полем. Когда «горячие» звезды покидают скопление, оставшиеся, более «холодные» (т.е. медленно движущиеся) светила немного приближаются к центру скопления. И за счет этого «разогреваются» (разгоняются). В результате скопление, теряя звезды, не только сохраняет, но даже несколько увеличивает свою «температуру», отчего темп потери звезд из скопления возрастает еще сильнее. Поэтому к концу жизни эволюция



**Рис. 1. Приливный захват звезд в двойную систему.**

Сближение двух звезд без учета приливного эффекта заканчивается их разлетом (а). Но с учетом приливного взаимодействия траектория искажается и становится замкнутой: звезды образуют двойную систему (б). Для простоты одна из звезд изображена здесь неподвижной и абсолютно жесткой, недеформируемой.

звездного скопления ускоряется; жизненные процессы в нем не замедляются, а напротив – усиливаются.

Используя мощные компьютеры, астрономы обнаруживают новые аспекты простого, на первый взгляд, процесса «испарения» звезд. Выяснилось, например, что вызванное потерей звезд сжатие скопления происходит неравномерно: ядро сжимается быстрее периферии. Когда перепад плотности между ядром и оболочкой скопления достигает критического значения, то, как доказал еще в 1962 г. ленинградский астроном Вадим Анатольевич Антонов, начинается «гравитермическая катастрофа» – быстрое сжатие ядра. Но остается неясным, к чему она приводит.

С одной стороны, при сжатии ядра скопления сближение звезд в нем становится все более тесным, вплоть до физических столкновений и взаимного слияния светил. Значит ли это, что в центре скопления должен образоваться конгломерат из слипшихся звезд – некая «сверхзвезда»? Если да, то какова ее судьба? В 2002 г. в ядрах двух крупных звездных скоплений были обнаружены признаки очень массивных черных дыр: не результат ли слияния звезд?

Но, с другой стороны, тесные сближения звезд приводят к формированию компактных двойных систем. Происходит это как в результате приливного захвата (рис. 1), так и при тройных сближениях звезд (рис. 2). А последующее взаимодействие двойной звезды с одиночными происходит весьма своеобразно. Например, встретив массивную звезду, члены звездной пары производят обмен: массивная звезда входит в пару, а более легкая звезда стремительно покидает ее. Если встречаются две звездные пары, то более компактная становится еще компактнее, а более рыхлая теряет свою связанность и даже может разрушиться (как заметил один астроном: «И здесь богатые становятся богаче, а бедные – беднее»). Результат взаимодействия двойных и одиночных звезд – более интенсив-

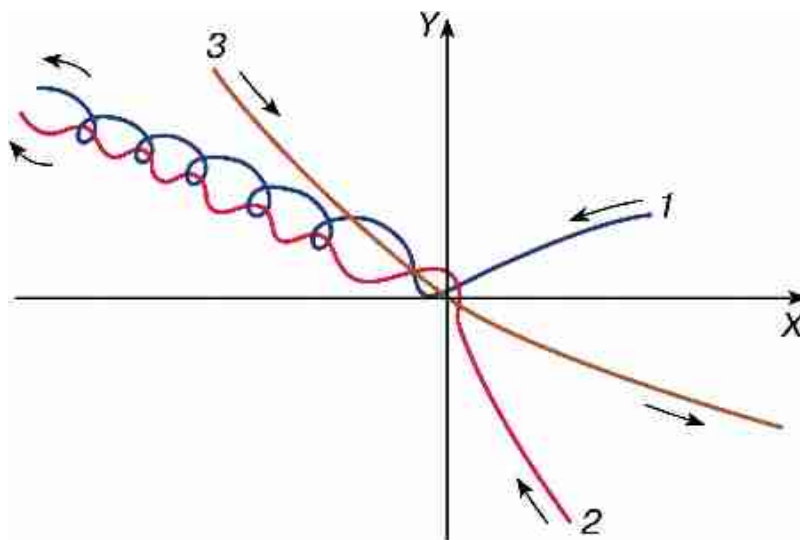


Рис. 2. Тройное сближение с образованием двойной системы.

В барицентрической системе координат показано движение трех звезд одинаковой массы. После их тесного сближения (в районе начала координат) звезды 1 и 2 образуют связанную систему, а звезда 3 быстро удаляется от них.

ное их движение, «разогрев» ядра скопления и возможная остановка его сжатия. Как видим, конкурирующие процессы в каждом конкретном скоплении могут по-разному решить судьбу их ядер. В этой области предстоит еще немало исследований.

Наконец, третий класс объектов, для которого оказались важны столкновения звезд, – это активные ядра галактик. После открытия в начале 60-х гг. наиболее мощных из них – квазаров – было предложено несколько механизмов выделения их колоссальной энергии. Среди прочего рассматривались и столкновения звезд; но на первое место быстро вышли сверхмассивные черные дыры, и к остальным механизмам теории потеряли интерес. Однако по мере накопления данных наблюдений стало ясно, что кроме сверхмощных и редких квазаров во Вселенной немало и других типов активных ядер галактик, не столь мощных, но от этого не менее интересных. Оказалось, что в ядрах так называемых сейфертовских галактик столкновения и слияния звезд весьма важны. Как показал автор этой статьи, там часто происходят последовательные слияния нескольких звезд, доводящие мас-

су конгломерата до такого значения, при котором возможна вспышка сверхновой – гигантский взрыв, практически разрушающий звезду и весьма точно имитирующий свойства ядер сейфертовских галактик. Будущие исследования, несомненно, выявят и другие места во Вселенной, где ключевую роль играют столкновения звезд. ■

ОБ АВТОРЕ:

**Сурдин Владимир Георгиевич** – кандидат физ.-мат. наук, старший научный сотрудник Государственного астрономического института им П.К. Штенберга (МГУ).

ЛИТЕРАТУРА:

**Кинг А.Р.** Введение в классическую звездную динамику. – М.: УРСС, 2002.  
**Саслау У.** Гравитационная физика звездных и галактических систем. – М.: Мир, 1989.  
**Спитцер Л.** Динамическая эволюция шаровых скоплений. – М.: Мир, 1990.  
**Сурдин В.Г.** Динамика звездных систем. – М.: МЦНМО, 2001.  
**Сурдин В.Г.** Рождение звезд. – М.: УРСС, 2001.



ДЛИННЫЕ

РУКИ

ИММУННОЙ СИСТЕМЫ

Жак Баншерио



**Дендритные клетки,**  
захватывая микробы и иные  
чужеродные частицы, посылают  
иммунной системе сигнал  
к действию. Вакцины, созданные  
на их основе, используются для лечения  
многих болезней, в том числе и рака.

Эти клетки, проникая своими длинными отростками во все ткани, контактирующие с внешней средой, всегда стоят на страже организма. Они есть в слизистой носа и в легких на случай, если в переполненном вагоне метро мы подхватим вирус. Находятся они и в желудке, готовые бросить клич иммунной системе, когда в организм попадают болезнетворные бактерии вроде сальмонеллы. Но самое главное – они «патрулируют» в коже, защищая нас от вредоносных микроэлементов, проникающих через эпидермис.

Дендритные клетки (важный, но пока мало изученный элемент иммунной системы) представляют собой разновидность лейкоцитов (белых кровяных клеток). В последние годы выяснилось, что они помогают иммунной системе выявлять проникающие в организм потенциально опасные агенты, инициируют и регулируют ответный ход иммунной системы. Во многих биотехнологических компаниях с их помощью разрабатываются методы лечения рака. Они также обеспечивают работу механизмов иммунологической толерантности, предотвращающих атаку иммунной системы на здоровые ткани.

Однако с ними связаны не только позитивные явления. Вирус ВИЧ, вызывающий синдром приобретенного иммунодефицита (СПИД), проникая в дендритные клетки, попадает вместе с ними в лимфатические узлы, где заражает и губит хелперные Т-лимфоциты,

что и обуславливает иммунодефицит. Активировавшиеся в неурочное время дендритные клетки нередко становятся причиной аутоиммунных расстройств, например системной красной волчанки. Подавление активности этих клеток может стать основой новых методов лечения подобных заболеваний.

## Редкие и ценные

Дендритных клеток в организме относительно мало – всего лишь 0,2% от общего числа лейкоцитов. Впервые они были выявлены в коже в 1868 г. немецким ученым Паулем Лангергансом, который ошибочно принял их за нервные окончания.

В 1973 г. Ральф Стейнмен (Ralph M. Steinman) из Рокфеллеровского университета (США) вновь открыл дендритные клетки (в селезенке у мышей) и установил их принадлежность к иммунной системе. В экспериментах на животных эти клетки проявляли необычайно высокую способность стимулировать иммунную защиту. Стейнмен назвал их дендритными (от греч. *dendron* – дерево) за шиповидные отростки, похожие на дендриты нервных клеток. (Дендритные клетки в наружном слое кожи – эпидермисе – по-прежнему называются клетками Лангерганса<sup>1</sup>.)

В течение двух последующих десятилетий предпринимались многочисленные попытки выделить дендритные клетки из живых тканей. В 1992 г. мне и моим коллегам в Иммунологи-

ческой лаборатории фирмы *Schering-Plough* в Дардили (Франция) удалось разработать метод их массового выращивания в культуре из стволовых клеток костного мозга человека. Тогда же Стейнмен и Кейо Инаба (Kayo Inaba) из Киотского университета (Япония) получили культуру мышинных дендритных клеток. В 1994 г. исследовательская группа под руководством Антонио Ланцавеккья (Antonio Lanzavecchia), работающего сейчас в Институте медико-биологических исследований в Беллинцоне (Швейцария), вырастила их из клеток крови моноцитов. В процессе дифференцировки они становятся либо дендритными клетками, либо макрофагами – клетками-«мусорщиками», уничтожающими мертвые клетки и микробы.

Дендритные клетки подразделяются на несколько категорий, дифференцируются из циркулирующих в кровотоке клеток-предшественников и в не вполне зрелой форме поселяются в коже, слизистой оболочке и некоторых органах, в частности в легких и селезенке. У них имеются разнообразные механизмы улавливания проникших в организм «врагов». Во-первых, это чашевидные рецепторы на клеточной поверхности – белки, связывающие чужеродные частицы. Во-вторых, способность к фагоцитозу. Фагоцитирующая клетка выпячивает клеточную мембрану и затягивает внутрь «чужака» (вирус или бактерию) так, что получается вакуоль – внутриклеточный мембранный замкнутый пузырек, который потом сливается с переваривающими органеллами – лизосомами. Наконец, они осуществляют и пиноцитоз. Этот процесс сходен с фагоцитозом, но захватывается не частица, а часть окружающей клетку жидкости с растворенными в ней антигенами.

<sup>1</sup> По общепринятой классификации собственно дендритные клетки – это те, которые имеют короткие закругленные отростки, а клетки Лангерганса – длинные неразветвленные. Аналогичные клетки с длинными разветвленными тонкими отростками носят название интердигитатных. (Прим. ред.)

## КРАТКИЙ ОБЗОР: ДЕНДРИТНЫЕ КЛЕТКИ

- Дендритные клетки присутствуют в различных тканях, в первую очередь в коже и слизистых оболочках. Они поглощают чужеродные частицы, включая микробы, расщепляют на фрагменты (антигены) и располагают их на своей клеточной поверхности.
- Дендритные клетки, несущие чужеродные антигены, перемещаются в лимфатические узлы или селезенку. Там они взаимодействуют с другими элементами иммунной системы, в том числе с В-лимфоцитами, производящими антитела, и с цитотоксическими Т-лимфоцитами, убивающими микробов и зараженные клетки.
- Ведутся клинические испытания противораковых вакцин на основе дендритных клеток, нагруженных опухолевыми антигенами. Средства, подавляющие активность дендритных клеток, возможно использовать для лечения аутоиммунных заболеваний, в частности системной красной волчанки.

Юн Цзюнли (Yong-Jun Liu) из Научно-исследовательского института компании DNAX в Пало-Алто (шт. Калифорния, США), выяснил, что некоторые незрелые дендритные клетки могут атаковать вирусы непосредственно, выделяя  $\alpha$ -интерферон.

Поглощенный незрелой дендритной клеткой, чужеродный элемент подвергается расщеплению. Образующиеся фрагменты (антигены) распознаются иммунной системой при помощи специальных белков, расположенных на поверхности дендритной клетки (см. рис. на с. 38–39). Дендритная клетка представляет антигены другим клеткам иммунной системы при помощи расположенных на ее поверхности белков главного комплекса гистосовместимости (сокращенно МНС – белки, от англ. *major histocompatibility complex*). Они имеют форму вилки и подразделяются на две группы: класс I и класс II, различающиеся по структуре и характеру взаимодействия с антигеном. Каждый белок МНС подходит к определенному антигену, как ключ к замку, и благодаря структурному соответствию связывает его.

Дендритные клетки во многом схожи с антигенами, т.е. они улавливают и представляют антиген, даже если его концентрация ничтожно мала. Пока в дендритных клетках идет процессинг антигена (т.е. расщепление и переработка с целью представления иммунной системе), они перемещаются с током крови или же по лимфатическим сосудам в лимфоузлы. Там они достигают полной зрелости и представляют связанные с белками МНС антигены «необученным» хелперным Т-лимфоцитам, еще не сталкивавшимся с антигенами.

Обучившись таким образом распознавать конкретный антиген, Т-хелперы стимулируют В-лимфоциты, а те производят антитела – белки, называемые иммуноглобулинами, которые связывают и инактивируют данный антиген. Дендритные и хелперные клетки также активируют цитотоксические Т-лимфоциты (Т-киллеры – клетки-«убийцы»), уничтожающие зараженные клетки.

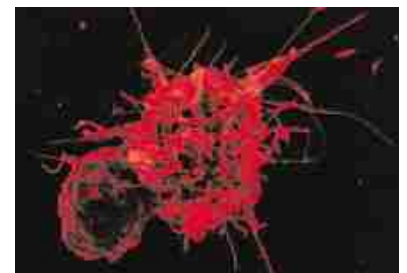
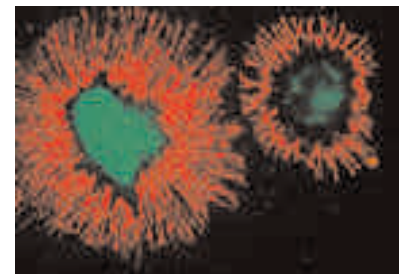
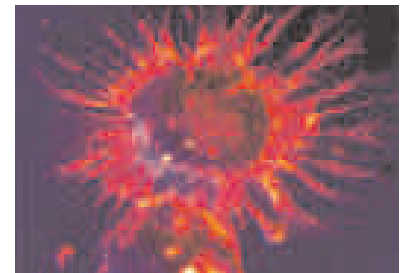
Некоторые из «обученных» лимфоцитов становятся клетками иммунологической памяти, которые живут в организме годами и всякий раз, когда антиген снова появляется в организме, они обнаруживают вторгшиеся микробы и инициируют иммунный ответ.

Тип иммунного ответа – будет ли он гуморальным (антителами) или клеточным (клетками-киллерами) – определяется отчасти тем, какие дендритные клетки подают сигнал к атаке и выделение каких цитокинов они стимулируют. Цитокины (вещества-посредники, передающие сигнал от одного элемента иммунной системы другому) стимулируют образование и активность хелперных Т-клеток. Если в организм проникли паразиты или бактерии определенного типа, нужны цитокины типа 2, вызывающие образование антител. При вирусных и бактериальных инфекциях требуются цитокины типа 1, побуждающие клетки-киллеры атаковать микробы.

Если дендритная клетка вызвала выделение неподходящего цитокина, иммунный ответ окажется неадекватным, а это весьма опасно для организма. Например, когда человек заразился проказой и против ее возбудителей (бактерий *Mycobacterium leprae*) начинается иммунная реакция, опосредуемая цитокинами типа 1, то развивается легкая туберкулоидная форма заболевания. Если же иммунная система ответила по типу 2, то вероятна тяжелая лепроматозная форма, возможно, со смертельным исходом.

### Убийцы раковых клеток

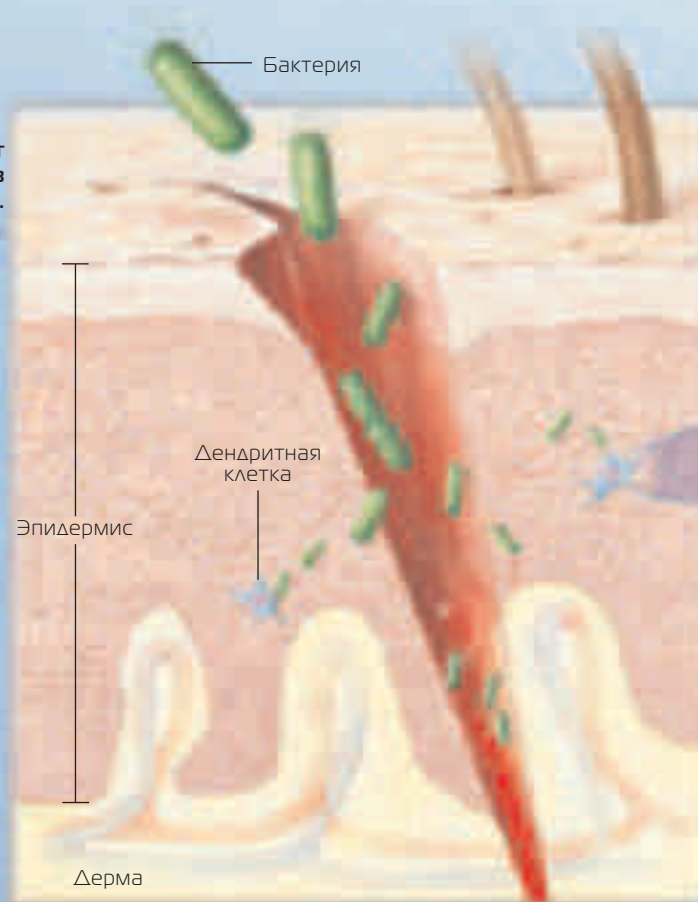
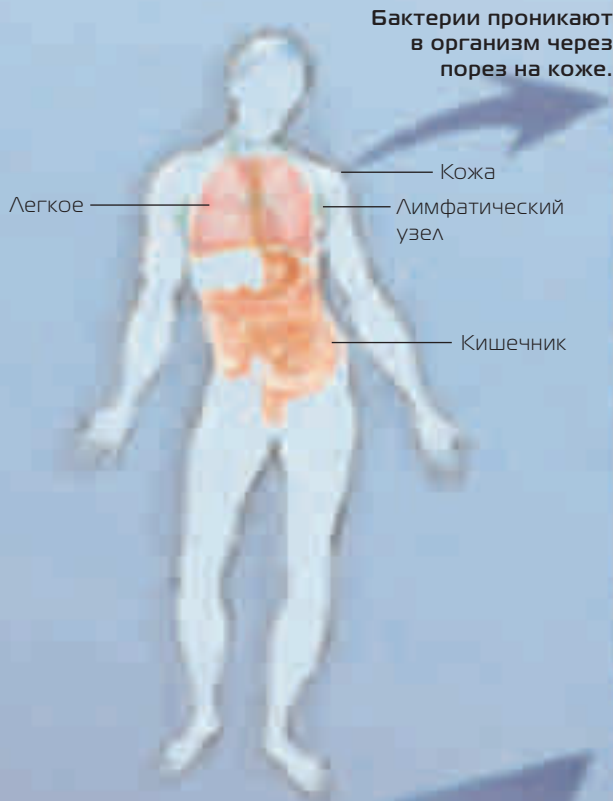
Злокачественные клетки, образующие раковые опухоли, отличаются от нормальных тем, что вырабатывают вещества, не свойственные здоровым тканям. Если бы удалось создать лекарства или вакцины, нацеленные исключительно на эти опухолеспецифические вещества, то злокачественные клетки уничтожились бы, а нормальные не страдали. Так происходит при лучевой и химической терапии рака. Но такое лечение вызывает побочные эффекты: выпадение волос, тошноту, а главное – ослабление иммунной системы. ▶



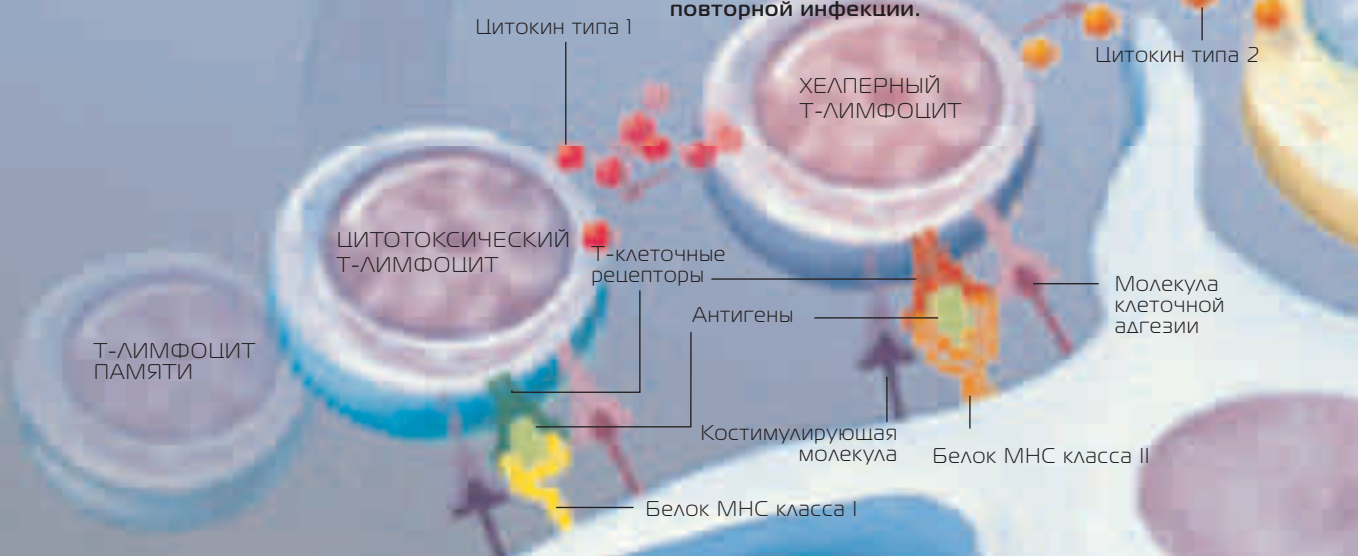
ШИПОВАТЫЕ ОТРОСТКИ – характерная особенность зрелых дендритных клеток человека (первый и второй снимки сверху), мыши (второй снимок снизу) и крысы (внизу). Здесь дендритная клетка крысы взаимодействует с хелперным Т-лимфоцитом. Взаимодействуя с другими клетками иммунной системы, дендритные клетки передают им информацию, позволяющую распознать подлежащие уничтожению чужеродные вещества. Клетки, достигшие зрелости «в пробирке» (второй снимок сверху), используются для получения противораковых вакцин.

# ДЕНДРИТНЫЕ КЛЕТКИ В БОРЬБЕ С ИНФЕКЦИЕЙ

Дендритные клетки в легких, коже и лимфатических узлах инициируют иммунный ответ чужеродным агентам (здесь: бактерии проникли через порез на коже).

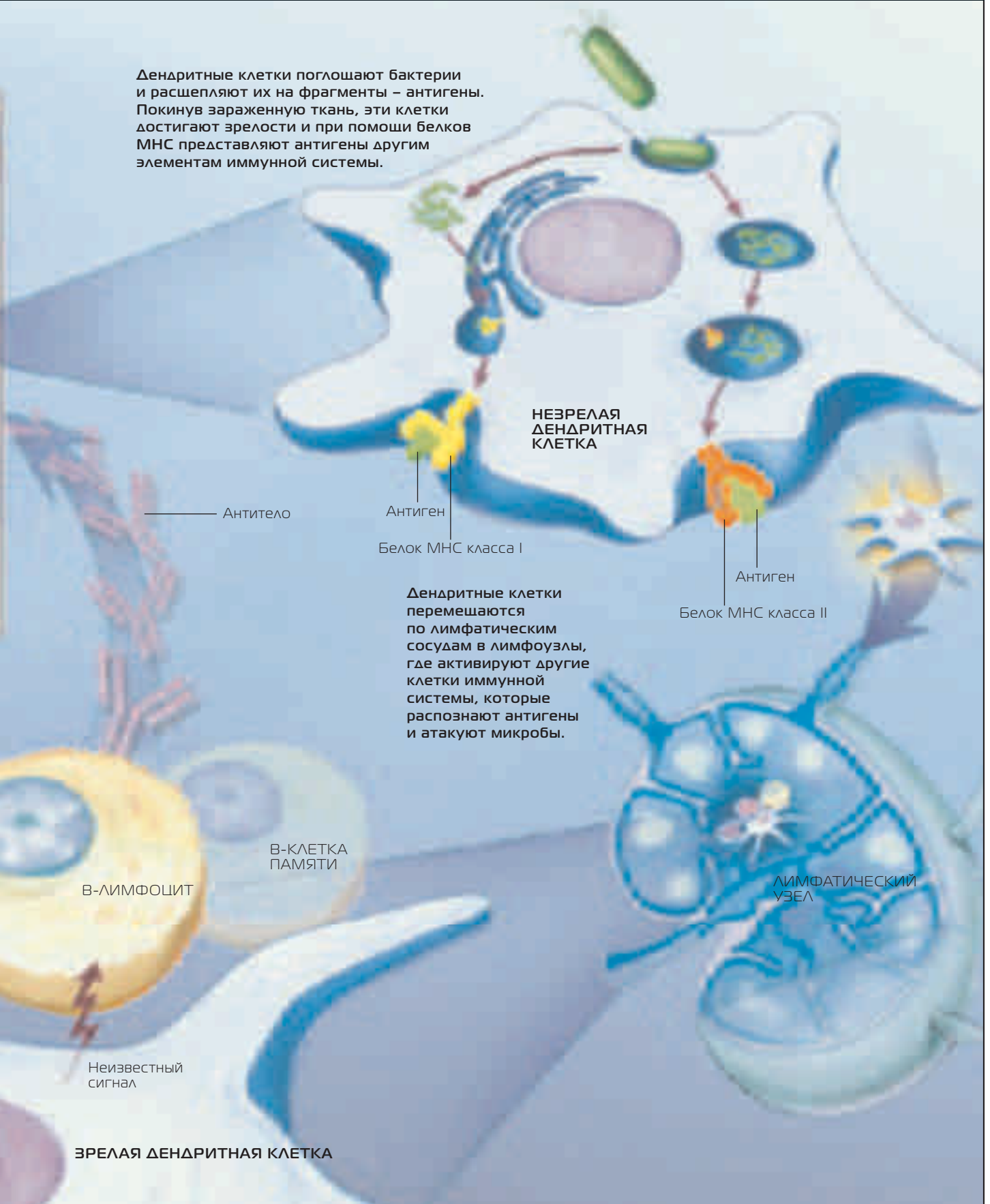


Дендритные клетки взаимодействуют с хелперными и цитотоксическими Т-лимфоцитами и, вероятно, с В-лимфоцитами. В результате Т-хелперы начинают выделять цитокины. Эти вещества, стимулирующие активность Т-киллеров, побуждают В-клетки производить антитела. Антитела и клетки-киллеры скапливаются в области пореза, где атакуют бактерии. Клетки памяти сохраняют информацию о чужеродном агенте на случай повторной инфекции.





Дендритные клетки поглощают бактерии и расщепляют их на фрагменты – антигены. Покинув зараженную ткань, эти клетки достигают зрелости и при помощи белков МНС представляют антигены другим элементам иммунной системы.



НЕЗРЕЛАЯ  
ДЕНДРИТНАЯ  
КЛЕТКА

Антитело

Антиген  
Белок МНС класса I

Антиген  
Белок МНС класса II

Дендритные клетки перемещаются по лимфатическим сосудам в лимфоузлы, где активируют другие клетки иммунной системы, которые распознают антигены и атакуют микробы.

В-КЛЕТКА  
ПАМЯТИ

В-ЛИМФОЦИТ

Неизвестный  
сигнал

ЗРЕЛАЯ ДЕНДРИТНАЯ КЛЕТКА

ЛИМФАТИЧЕСКИЙ  
УЗЕЛ

**Вакцины на основе дендритных клеток**

| <b>Биотехнологическая компания</b> | <b>Местонахождение</b>             | <b>Вакцина</b>        | <b>Раковое заболевание</b>   | <b>Стадия разработки</b>   |
|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|--|--|
| ML Laboratories                    | Уоррингтон (Великобритания)        | LSE:MLB               | Меланома   | Начата фаза I клинических испытаний  |
| Dendreon                           | Сизтл (США)                        | NASDAQ: DNDN          | Опухоли простаты и молочной железы, яичников, толстой кишки; множественная миелома | Фаза III (простата), фаза II (простата, множественная миелома), фаза I (молочная железа, яичники, толстая кишка) |
| Genzyme                            | Фреймингем (шт. Массачусетс, США)  | NASDAQ: GZMO          | Опухоли почек; меланома  | Фаза I (почки), фаза I-II (меланома)   |
| Immuno-Designed Molecules          | Париж (Франция)                    | Частная собственность | Опухоли простаты; меланома   | Фаза II  |
| Merix Bioscience                   | Дарем (шт. Северная Каролина, США) | Частная собственность | Меланома   | Начата фаза I  |
| Oxford BioMedica                   | Оксфорд (Великобритания)           | LSE:OXB               | Рак толстой и прямой кишки   | Фаза I-II  |
| Zycos                              | Лексингтон (шт. Массачусетс, США)  | Частная собственность | Вакцина на основе ДНК против различных раковых заболеваний                         | Фазы I и II  |

На I фазе клинических испытаний оценивается безопасность вакцины на небольшом числе пациентов. На II и III фазах определяется безопасность вакцины, а также ее способность стимулировать иммунную систему на большем числе испытуемых.

Опухолеспецифические антигены сложно выявить. Однако в начале 1990-х Тьерри Боон (Thierry Boon) из Людвиговского онкологического института в Брюсселе (Бельгия) и независимо от него Стивен Розенберг (Steven A. Rosenberg) из Национального института рака (США) идентифицировали опухолеспецифические антигены меланомы (агрессивного рака кожи). Сейчас проводятся клинические испытания. Для исследований у больного берут предшественников дендритных клеток и культивируют в лабораторных условиях с опухолеспецифическими антигенами. Дендритные клетки поглощают антигены, расщепляют на фрагменты и представляют их на своей поверхности. Затем клетки вводятся обратно больному в надежде, что они сынициируют иммунный ответ на опухоль, содержащую данные антигены.

Сегодня эта методика апробируется применительно к различным раковым заболеваниям: меланоме, В-клеточной лимфоме, опухолям предстательной железы и толстой кишки. Работы ведутся Франком Нестле (Frank O. Nestle) из Цюрихского университета (Швейцария), Рональдом Леви (Ronald Levy) из

Станфордского университета (США) и рядом биотехнологических компаний (см. таблицу на стр. 40). И уже есть кое-какие успехи. Так, в сентябре 2001 г. мы с коллегами сообщили о результатах лечения меланомы с помощью дендритных клеток, нагруженных меланомными антигенами. Такие клетки ввели 18 испытуемым с запущенной формой меланомы, и у 16 из них отмечалось усиление иммунного ответа более чем двум меланомным антигенам, а рост опухолей замедлился. Следующая задача – отшлифовать методику и испытать ее на большем числе больных.

Пока что вакцины на основе дендритных клеток применялись только на последних стадиях рака. Есть основания полагать, что на ранних стадиях они будут более эффективны. Однако дело осложняется некоторыми обстоятельствами. Во-первых, вакцина может по ошибке побудить иммунную систему атаковать здоровые ткани. Например, у больных меланомой, получивших первую противораковую вакцину, наблюдалось витилиго (белые пятна на коже), т.к. инъекция вызвала разрушение нормальных меланоцитов – клеток, производящих пигмент

кожи меланин. Во-вторых, опухолевые клетки могут видоизмениться и в результате избежать воздействия иммунной системы, иницированного препаратом. Если в опухоли перестанет образовываться антиген, взятый за основу для создания вакцины, то и сама вакцина окажется бесполезной. Собственно, эта проблема – изменение свойств опухолевых клеток – общая для всех методов лечения рака.

Получение противораковой вакцины с дендритными клетками сложно и дорого. Некоторые исследователи стремятся упростить и удешевить этот процесс. Одно из направлений – воздействие на имеющиеся в организме больного предшественников дендритных клеток, побуждающее их дифференцироваться и иницировать противоопухолевый иммунный ответ. Дэвид Линч (David H. Lynch) открыл цитокин, стимулировавший у подопытных мышей образование дендритных клеток, что приводило к отторжению трансплантированной опухоли. По данным Дрю Пардолла (Drew M. Pardoll) из Университета Джонаса Гопкинса (США), опухолевые клетки, генетически модифицированные та-

ким образом, что выделяют большое количество цитокинов, активирующих дендритные клетки, могут служить мощной противораковой вакциной.

### Подавление иммунной активности

Существует феномен так называемой центральной (тимической) толерантности: в расположенной за грудиной вилочковой железе (тимусе) уничтожаются те лимфоциты, которые по каким-либо причинам реагируют на собственные компоненты организма, как на чужеродные антигены. Благодаря этому потенциально опасные клетки не поступают в кровоток и не наносят организму вреда. Однако некоторым из них удается избежать гибели. На этот случай существует дублирующий механизм периферической (посттимической) толерантности, не позволяющий агрессивным клеткам причинять вред.

При аутоиммунных заболеваниях – ревматоидном артрите, сахарном диабете типа I (инсулинозависимом), системной красной волчанке (СКВ) и др. – этот механизм, по-видимому, нарушен. В 2001 г. были опубликованы данные, что у больных СКВ дендритные клетки в крови ненормально активны. Они выделяют в больших количествах  $\alpha$ -интерферон, стимулирующий дифференцировку клеток-предшественников, и в результате созревание дендритных клеток завершается прямо в кровотоке. Зрелые дендритные клетки поглощают дезоксирибонуклеиновую кислоту (ДНК), содержание которой при СКВ необычайно велико, и инициируют иммунный ответ: в организме образуются антитела против его собственной ДНК. Они и обуславливают проявления волчанки: поражение почек, суставов, сосу-

дов, кожи и проч. Резонно предположить, что если блокировать действие  $\alpha$ -интерферона, то дендритные клетки не будут активироваться. Это может стать основой нового метода лечения СКВ и одним из способов борьбы с отторжением чужеродных тканей после трансплантации органов.

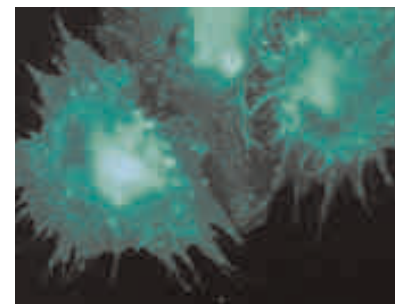
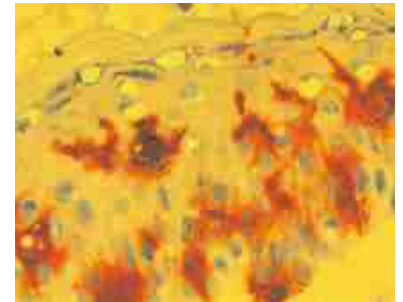
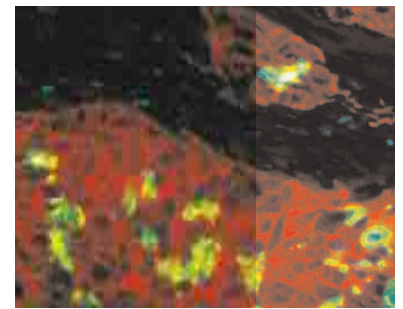
Здесь прослеживается и новый путь лечения СПИДа. В 2000 г. Карл Фигдор (Carl G. Figdor) и Иветт ван Койк (Yvette van Kooyk) из Медицинского центра Неймегенского университета (Нидерланды) идентифицировали дендритные клетки, производящие вещество, обозначаемое DC-SIGN, которое может пристать к внешней оболочке ВИЧ (вируса, вызывающего СПИД). Эти клетки, «патрулирующие» в слизистых оболочках и внутренних тканях, затем переносятся в лимфоузлы, где вирус оказывается среди Т-клеток, поражая которые, он ослабляет иммунную защиту, что и является сущностью СПИДа – синдрома приобретенного иммунодефицита. Лекарства, блокирующие взаимодействие DC-SIGN с ВИЧ, замедлили бы развитие СПИДа.

Возбудители других инфекционных заболеваний, в том числе цитомегаловирус, малярийный плазмодий и вирус кори, тоже используют дендритные клетки в своих целях. Так, при малярии эритроциты (красные кровяные клетки), содержащие паразитов, связываются с дендритными клетками, не давая им достичь зрелости и сигнализировать иммунной системе о наличии чужеродных веществ.

Сегодня растет число ученых и коммерческих организаций, занимающихся изучением дендритных клеток, что сулит в скором будущем успехи в борьбе со многими болезнями, преследующими человечество. ■

#### ОБ АВТОРЕ:

**Жак Баншеро** (Jaques Banchemereau) с 1996 г. возглавляет Бейлоровский научно-исследовательский институт иммунологии в Далласе (США), где изучает возможности воздействия на иммунную систему человека с целью лечения раковых, аутоиммунных и инфекционных заболеваний. Ранее Баншеро руководил Иммунологической лабораторией фирмы *Schering-Plough* в Дардили (Франция). Автор ряда патентов по иммунологическим методикам. Член научного консультационного совета биотехнологической компании *Merix Bioscience* в Северной Каролине (США).



НЕЗРЕЛЫЕ ДЕНДРИТНЫЕ КЛЕТКИ окрашены в зеленый цвет в опухолевой ткани молочной железы (вверху) и в красный – в здоровой коже (второй снимок сверху). В процессе созревания клетки производят белки, с помощью которых соединяются друг с другом (второй снимок снизу). На их поверхности имеются Y-образные молекулы (внизу: зеленые точки), при участии которых фрагменты чужеродных агентов предъявляются другим клеткам иммунной системы.

# ГЛАДИАТОРЫ: НОВЫЙ ОТРЯД НАСЕКОМЫХ

Йоахим Адис, Оливер Цомпро, Эстер Мумбола-Гоагозес и Юджин Мараис

Представьте, что вы – первый человек, кому довелось увидеть неизвестную доселе бабочку, жука или осу. Попробуйте пережить чувство восхищения необъятным миром природы, таящим в себе не только виды и семейства, но и целые отряды животных, у которых пока нет даже названия. Наверняка такие эмоции 250 лет назад испытывал Карл Линней, классифицировавший новые виды растений и животных по созданной им системе таксонов.



Тайна, заключенная в куске янтаря, привела ученых на пустынное горное плато и обернулась открытием, потрясшим весь энтомологический мир.





На протяжении многих миллионов лет взрослый самец загадочного насекомого сохранялся в куске янтаря. Эта ископаемая находка и сыграла ключевую роль в открытии нового отряда – *Mantophasmatodea*. Но насекомые

за столь долгое время эволюционировали; для современных гладиаторов характерны более тонкие передние ноги и более округлая голова, утратившая прежние треугольные очертания.

Мир природы давно уже не кажется биологам столь разнообразным и непредсказуемым, как прежде. Большинство из них уже давно пришли к выводу: сколько бы еще ни оставалось в природе неизвестных науке видов насекомых, любой вновь обнаруженный обязательно будет отнесен к одному из 30 основных отрядов. Но в июне 2001 г. одному из авторов этой статьи, Оливеру Цомпро (Oliver Zompro), попал в руки кусок янтаря, благодаря которому многие ученые изменили прежние представления о мире насекомых и испытали непривычную радость первооткрывателей.

### Застывшие во времени

Янтарь из коллекции Гамбургского университета в Германии был найден у Балтийского моря. В этих кусках смолы, затвердевшей около 45 млн. лет назад вместе с прилипшими к ней насекомыми, Оливер Цомпро заметил несколько неизвестных ему личинок.

Позже, в Музее естественной истории в Лондоне, хранитель музея Джудит Маршалл обратила его внимание на одну засушенную «букашку», пойманную в Танзании в 1950 г. Определенно перед Цомпро был наружный скелет взрослого самца, но никто до

сих пор не мог определить, к какому виду он относится. Сделав несколько его фотографий, ученый вернулся в Германию.

А через несколько дней в институт прислали еще один кусок янтаря с застывшим в нем неведомым насекомым. Изучив его под микроскопом, Цомпро поразился его сходству с экзоскелетом существа, только что виденного им в Лондоне. Научный руководитель Йоахим Адис (Joachim Adis) посоветовал ему покопаться в коллекциях насекомых нескольких европейских музеев – не окажется ли там похожих неидентифицированных «клопов»? Цомпро изучал одну коллекцию за другой, но ничего стоящего ему не попадалось. Повезло ему только в Берлинском музее естественной истории: в маленьком пузырьке со спиртом плавало «забальзамированное» тельце взрослой самки какого-то насекомого, обладавшего явным сходством с загадочным сородичем в янтаре.

Тщательное изучение двух дополнительных образцов – доисторического и недавно пойманного в Танзании – еще больше взволновало Цомпро и Адиса. На первый взгляд эти животные с сильными задними ногами по-

ходили на кобылок. Но у них не было крыльев, характерных для большинства видов кобылок. Их передние ноги были вооружены шипами напоподобие тех, с помощью которых богомолы ловят и удерживают своих жертв. Однако голова и задние ноги загадочных насекомых разительно отличались от соответствующих частей тела богомол. Сверху оба существа сильно напоминали растительноядных палочников. Но второй сегмент их тела был гораздо шире, чем у палочников, а в кишечнике содержались непереваренные частички других насекомых.

Речь шла об очень серьезных различиях. Мы сразу пришли к выводу, что организмы, обладающие такими существенными особенностями формы тела и питания, не относятся ни к одному из известных отрядов насекомых. Нам нужно было придумать для них новое таксономическое название – наподобие тех, что были присвоены систематиками двукрылым, жукам и бабочкам.

Поскольку наши таинственные незнакомцы напоминали причудливые гибриды богомол (отряд *Mantodea*) с палочниками (отряд *Phasmatodea*), мы решили дать им латинское название

**Рождение отряда насекомых**

**ГЛАДИАТОРЫ**

Анатомия гладиаторов имеет много общего со строением кобылок, палочников и богомолов. Однако множество существенных особенностей разительно отличает их от этих отрядов насекомых. Это и заставило ученых в апреле 2002 г. выделить гладиаторов в отдельный отряд *Mantophasmatodea*. Сегодня он включает по меньшей мере три ныне существующих и два вымерших вида насекомых.

**ОТРЯДЫ НАСЕКОМЫХ**

|                   |                                  |
|-------------------|----------------------------------|
| Двукрылые         | Diptera (мухи и комары)          |
| Веерокрылые       | Strepsiptera                     |
| Скорпионницы      | Mecoptera                        |
| Блохи             | Siphonaptera                     |
| Чешуекрылые       | Lepidoptera (бабочки)            |
| Ручейники         | Trichoptera                      |
| Перепончатокрылые | Hymenoptera (муравьи, осы и др.) |
| Жесткокрылые      | Coleoptera (жуки)                |
| Сетчатокрылые     | Neuroptera                       |
| Вислокрылые       | Megaloptera                      |
| Верблюдки         | Rhaphidoptera                    |
| Сеноеды           | Psocoptera                       |
| Вши               | Phthiraptera                     |
| Клопы             | Heteroptera                      |
| Трипсы            | Thysanoptera                     |
| Веснянки          | Plecoptera                       |
| Эмбии             | Embioptera                       |
| Зораптеры         | Zoraptera                        |
| Таракановые       | Blattodea                        |
| Богомолы          | Mantodea                         |
| Гладиаторы        | Mantophasmatodea                 |
| Термиты           | Isoptera                         |
| Уховертки         | Dermaptera                       |
| Гриллоблаттиды    | Grylloblattodea                  |
| Палочники         | Phasmatodea                      |
| Прямокрылые       | Orthoptera (кобылки и др.)       |
| Стрекозы          | Odonata                          |
| Поденки           | Ephemeroptera                    |
| Чешуйницы         | Zygentoma                        |
| Махилисы          | Archaeognatha                    |
| Равнокрылые       | Homoptera хоботные (тли и др.)   |

**ВИД СБОКУ**

**Смертоносные захваты**

Передние ноги, как и у богомолов, вооружены шипами для удержания заживо пожираемой жертвы.

**Прыгательные ноги**

Задние ноги гладиатора развиты хуже, чем у кузнечиков и кобылок.



**Насекомые-хищники**

Мощные верхние челюсти (мандибулы) – признак хищнического образа жизни. Большинство кобылок и палочников питаются растительной пищей.

**ВИД СВЕРХУ**



**Отсутствие крыльев**

Гладиаторы лишены крыльев; у многих богомолов и большинства кобылок и кузнечиков крылья имеются.

**Длинное прямое туловище**

Формой тела гладиаторы сильно напоминают палочников.

**Умеренно развитая грудь**

У палочников второй грудной сегмент длиннее (обычно – гораздо длиннее), чем первый, а третий сегмент слит с брюшком.

**Крючковидные лапки**

Характерны только для гладиаторов.

Палочник



Богомол



Кобылка





Гладиаторы облачаются в «броню» в самом юном возрасте. Окраска нимф (личинок) гладиаторов соответствует цвету камней, среди которых они прячутся от хищников и солнца.

*Mantophasmatodea*. Хотя между собой продолжали называть насекомых гладиаторами – такое устрашающее впечатление произвели на нас их внешний вид и закованные в «броню» личинки.

Мы подозреваем, что гладиаторы произошли от какого-то общего предка с богомолами и палочниками, но чтобы определить их точное положение на родословном древе эволюционного развития насекомых, необходимы дальнейшие исследования. С этой целью в апреле 2002 г. мы начали проводить анализ их ДНК.

### Высокогорная охота на «букашек»

Больше всего нас волновал вопрос: сохранились ли сегодня гладиаторы или же за те полсотни лет, что прошли с поимки танзанийского экземпляра, этот отряд насекомых навсегда

исчез с лица земли? Адис переслал энтомологам в разных частях света снимки гладиаторов и попросил их поискать похожих насекомых в своих коллекциях.

В энтомологической коллекции Лидского университета в Англии были обнаружены взрослый гладиатор и две личинки, пойманные на горе Брандберг в Намибии где-то между 1998 и 2000 гг. Одно насекомое, соответствовавшее описанию гладиаторов, удалось найти в 1990 г. одному из авторов этой статьи, Мараису. Другое – в 2001 г. студенту из Намибии.

Когда Мараис приехал в Германию, он вместе с Цомпро и Адисом приступил к разработке плана экспедиции в Намибию для поисков живых гладиаторов. В последний день февраля 2002 г. десять ученых из пяти стран мира отправились в тропическую пустыню Намиб. Путь экспедиции лежал

к горе Брандберг – изолированному горному массиву высотой 1800 м, возвышающемуся наподобие громадного гранитного холма над бесплодной равниной в провинции Эронго.

В начале марта мы приступили к работе на высокогорном каменистом плато, находящемся в окружении еще более высоких скал. Систематик из Намибии Джон Айриш (John Irish) выгонял насекомых из травы палкой. Через несколько часов он нагнулся, внимательно что-то разглядывая. «Мне, кажется, что-то попало, Оливер», – крикнул Айриш. На его ладони лежала крошечная личинка – гладиатор на второй стадии развития. Тем же вечером другой ученый нашел еще четыре личинки. Мы едва сдерживали волнение. Была открыта до сих пор неизвестная науке форма жизни, сохранявшаяся в целостности и неприкосновенности более 45 млн. лет!

В ту ночь вокруг лагеря бродил леопард. Но большинству участников экспедиции было не до него – их больше мучили вопросы, связанные с жизнью гладиаторов. Чем они питаются? Как они находят воду? Как им удастся пережить ливневые паводки и выдерживать суточные колебания температуры в 25°C? Все эти вопросы требовали наблюдений за насекомыми на всех стадиях развития.

В наши планы входили поиски гладиаторов и в других частях горного массива, а также на склонах соседних скал, но погода нас подвела. Спускаться вниз по крутым склонам по жаре в 44°C – занятие весьма изнурительное. Периодические ливни превращали ручейки в опасные для жизни бурные стремнины. Но как же преобразился после дождей унылый горный ландшафт – желтые, серые и бурые склоны гор превратились в изумрудно-зеленое море растительности!

К середине марта Цомпро и остальные ученые добрались до соседних гор. Во время ночной охоты здесь был пойман гладиатор еще одного вида – теперь новый отряд включал уже четыре идентифицированных вида насеко-



мых. А на следующий день Цомпро удалось сделать первые наблюдения за поведением гладиаторов в природе.

### Гладиаторская жизнь

Двенадцать живых гладиаторов мы привезли в Германию, где вплотную занялись изучением их биологии. Пока о жизни этих насекомых удалось узнать немного, но работа продвигается полным ходом.

На горных склонах мы видели, как гладиаторы прятались от жары и яркого дневного света в траве и расщелинах скал. Окраска тела в тон окружающей растительности и камней обеспечивала им отличную маскировку. С наступлением темноты они выходили из своих убежищ на охоту.

Гладиаторы – хищники, питающиеся самыми разнообразными насеко-

мыми. В горах мы наблюдали, как они поедали мелких ночных бабочек, чешуйниц и тараканов. В неволе они, похоже, отдают предпочтение живым мухам, кузнечикам и сверчкам, но не отказываются и от мертвых мучных червей.

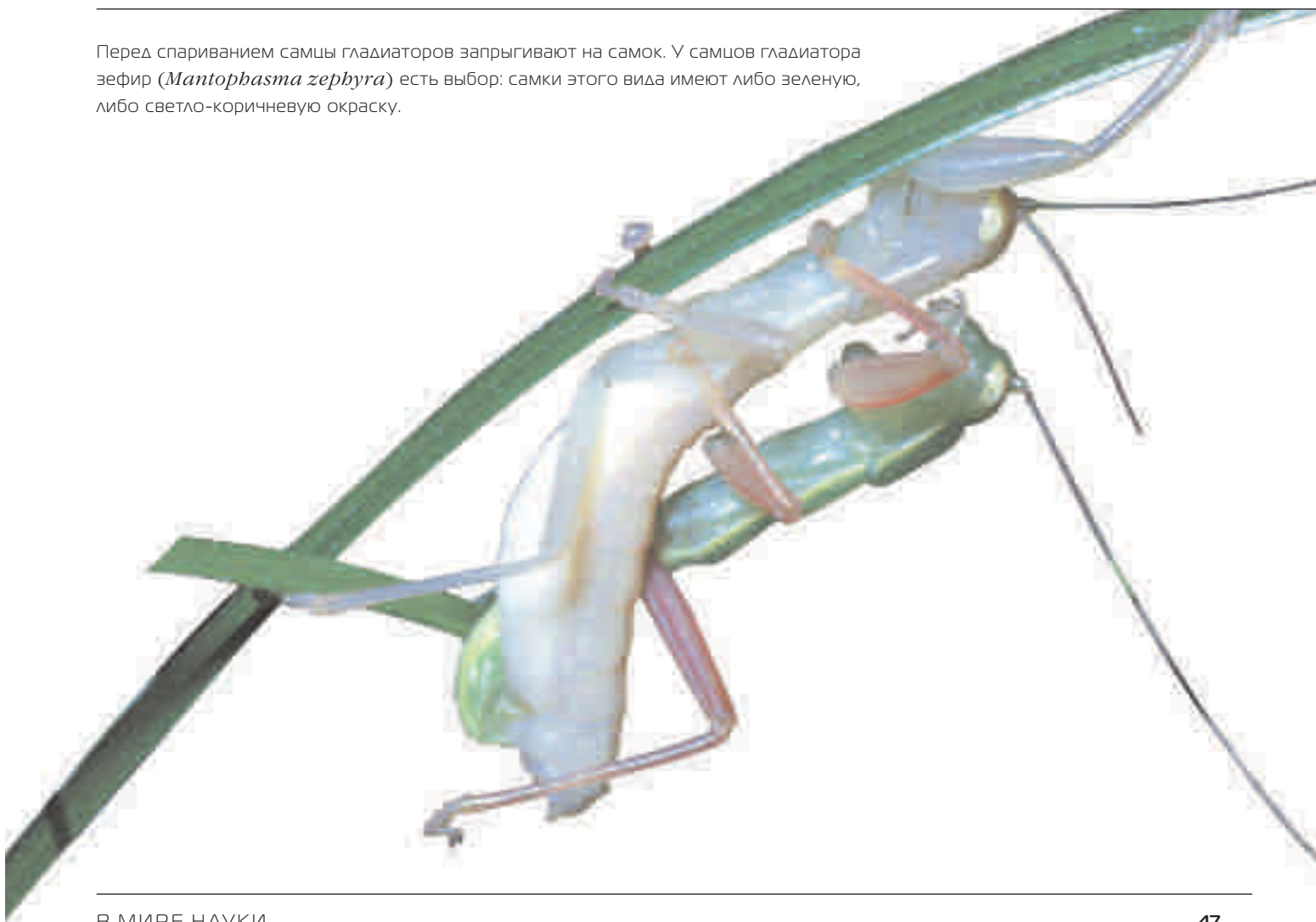
Мелких насекомых гладиаторы захватывают и удерживают с помощью мощных передних ног. В удержании крупной добычи участвует и средняя пара ног (к сходной «четвероногой» технике охоты прибегают и хищные кузнечики). Крупных мух гладиаторы умерщвляют сильным укусом в «шею». Поедать добычу они начинают с головы. Жертва съедается полностью – за исключением крыльев и ног. Отмечались нами и случаи каннибализма, жертвами которого становились поврежденные личинки.

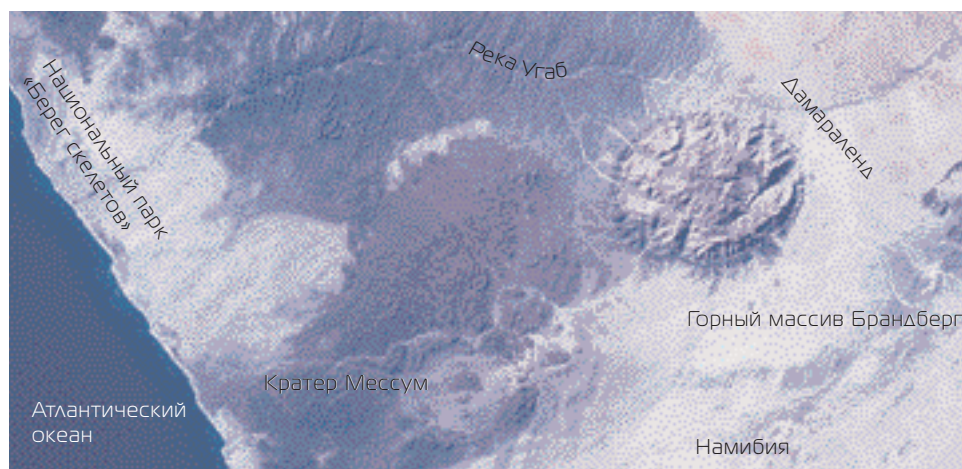
Личинки гладиаторов растут очень быстро и превращаются во взрослых насекомых через несколько линек. Полный цикл развития они, по-видимому, приурочили к короткому сезону дождей, продолжающемуся в Брандберге всего несколько месяцев. Пока неизвестно, как и где в природе самки откладывают яйца.

Неожиданное открытие нового отряда насекомых ошеломило многих энтомологов. Некоторые из них тут же принялись прочесывать свои коллекции в поисках гладиаторов – в результате в музеях Южной Африки было обнаружено 29 экземпляров этих существ. Полевые исследования показали, что они в изобилии водятся в провинции Западный Кейп.

Научные коллективы из разных частей света начали предлагать нам ▶

Перед спариванием самцы гладиаторов запрыгивают на самок. У самцов гладиатора зефир (*Mantophasma zephyra*) есть выбор: самки этого вида имеют либо зеленую, либо светло-коричневую окраску.





Поисковая экспедиция началась в конце февраля 2002 г. По совету Ю. Мараиса группа из 10 энтомологов отправилась в бескрайнюю бесплодную пустыню Намиб. На место изысканий ученых доставили грузовик и вертолет. Поиски насекомых начались на самой высокой горе в Намибии – Брандберг (слева). Здесь, а также на склонах соседних гор Дамараленда, О. Цомпро и его товарищи открыли два сохранившихся до наших дней вида гладиаторов.

помощь в изучении поведения, жизненного цикла и размножения гладиаторов. Романо Даллаи (Romano Dallai) из Сиенского университета в Италии в настоящее время изучает форму и строение сперматозоидов этих насекомых, а группы исследователей под руководством Майкла Уайтинга (Michael F. Whiting) из Университета Брайгэма Янга и Роджера Батлина (Roger K. Butlin) из Лидского университета проводят анализ их ДНК. Возможно, к концу 2002 г. благодаря этим работам мы получим более точное представление об истинном положении отряда *Mantophasmatodea* в «кроне» филогенетического древа насекомых – самого «раскидистого» древа жизни на нашей планете.

Нас очень удивляет то обстоятельство, что засушенные гладиаторы десятилетиями незаметно хранились в коллекциях многих музеев мира

и лишь случай (и наблюдательность одного ученого) позволил соединить кусочки в единое целое. Быть может, на Земле существуют и другие неизвестные науке отряды насе-

комых? Так или иначе, а нам и всем остальным любителям «букашек» мир природы кажется отныне более разнообразным и непредсказуемым, чем прежде. ■

ОБ АВТОРАХ:

**Йоахим Адис** (Joachim Adis), **Оливер Цомпро** (Oliver Zompro), **Эстер Мумбола-Гоагозес** (Esther Moombolah-Coagoses) и **Юджин Мараис** (Eugene Marais) – энтомологи, принимавшие непосредственное участие в открытии отряда *Mantophasmatodea*. Й. Адис – научный руководитель Лаборатории тропической экологии в Лимнологическом институте им. Макса Планка в г. Плён (Германия). Кроме того, он является профессором Кильского университета (Германия) и нескольких бразильских университетов. Й. Адис также сотрудничает со Смитсоновским институтом в качестве исследователя-энтомолога. Начиная с 1975 г. он занимается экологией и стратегиями выживания многоножек, пауков и насекомых амазонских ветлендов. О. Цомпро – аспирант, работающий под руководством Адиса в Лимнологическом институте Макса Планка. Начиная с 1980 г. освоил методику разведения в неволе более 130 видов палочников и листовидок. Его научная специализация – эволюция и экология палочников. Э. Мумбола-Гоагозес – главный хранитель Национального музея Намибии в Виндхукке. Ю. Мараис – хранитель Намибийской национальной коллекции насекомых в Виндхукке.



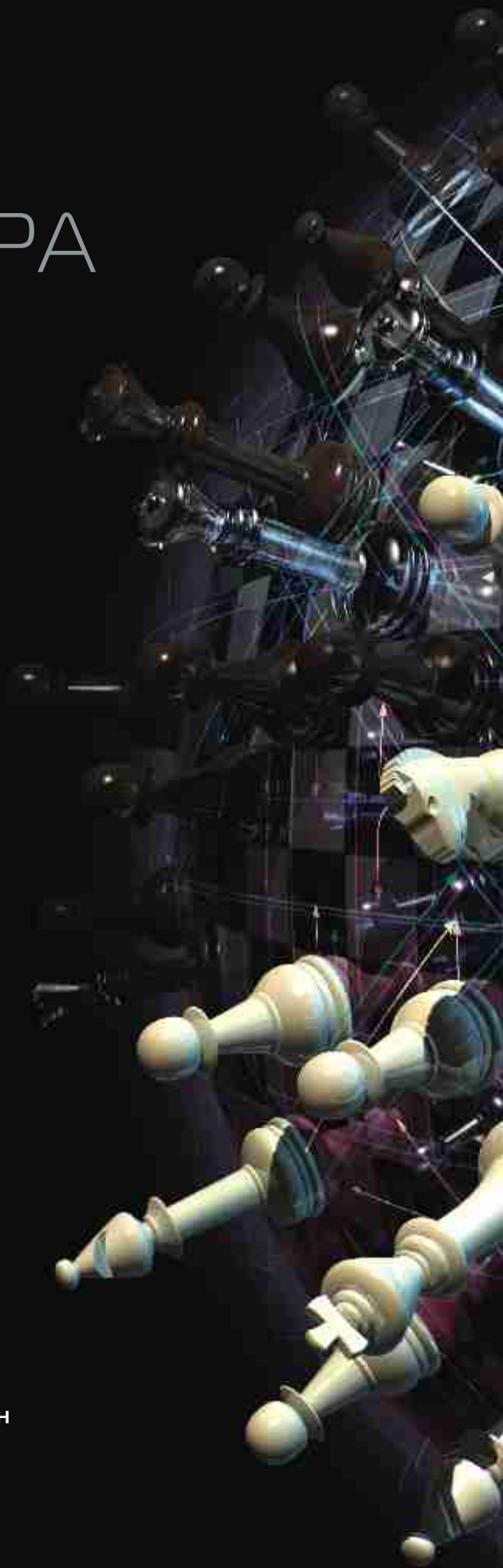
# ПРАВИЛА

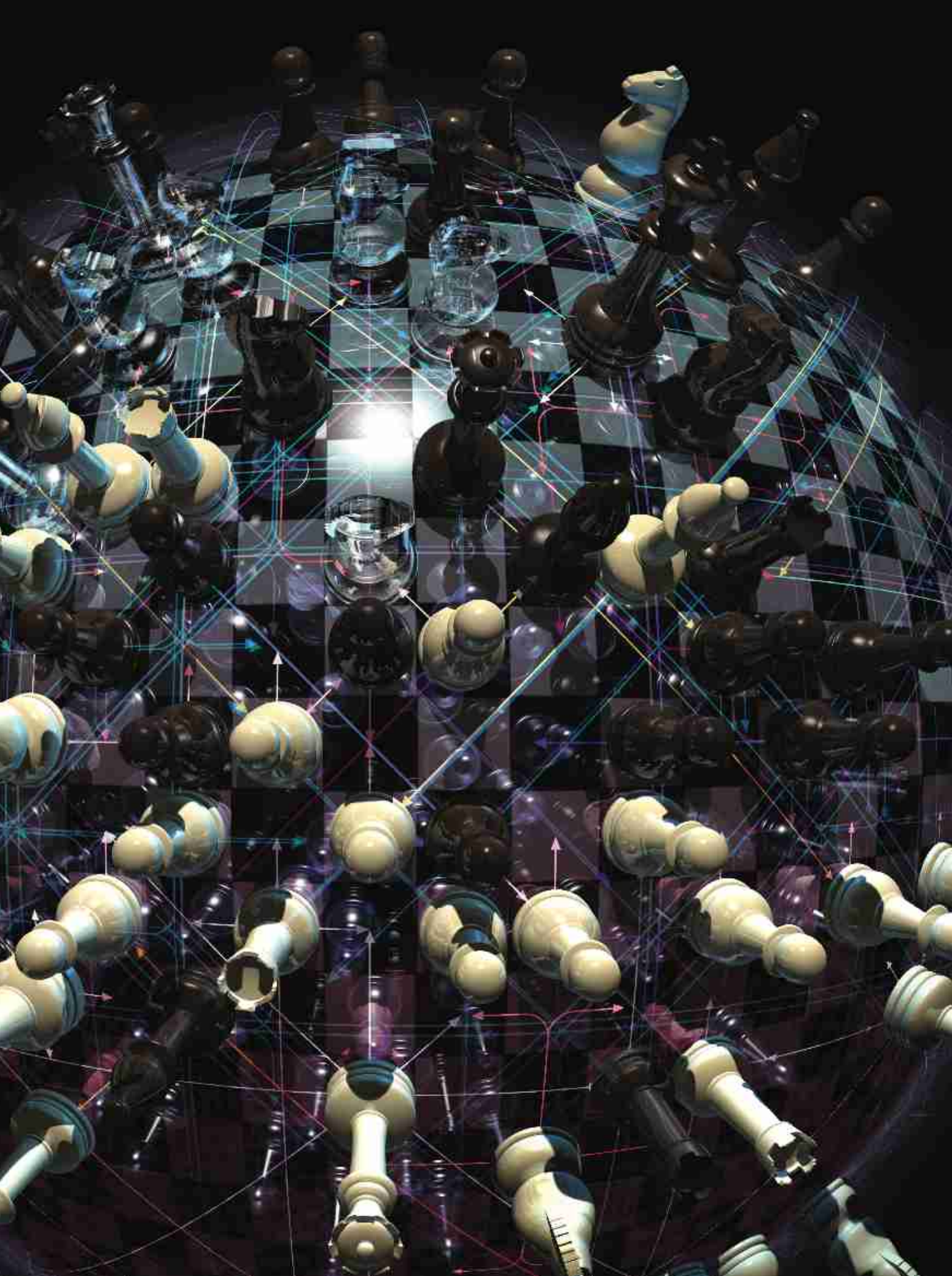
## ДЛЯ СЛОЖНОГО

## КВАНТОВОГО МИРА

Новое направление фундаментальных исследований объединяет теорию информации и квантовую механику.

Майкл Нильсен





Ученые пришли к выводу, что даже простые правила приводят к весьма сложному поведению. Представьте себе человека, который знает правила шахмат, но не умеет хорошо играть. Он делает абсурдные ходы, жертвует ферзя за пешку и без причин теряет ладью. Такому игроку неведомы высшие принципы и эвристика игры, известные гроссмейстеру. Они не просто следуют из правил, а возникают при взаимодействии фигур на шахматной доске.

Современное понимание квантовой механики похоже на представление начинающего шахматиста. Правила известны более 70 лет, и у нас есть несколько остроумных приемов, пригодных в некоторых ситуациях, но мы пока не можем похвастаться мастерством.

Цель квантовой теории информации – изучение высших принципов игры в квантовом мире. Авторы многих статей акцентируют внимание на технических приложениях: одни группы исследователей телепортируют квантовые состояния из одного места в другое, другие – используют их для создания криптографических ключей, абсолютно защищенных от расшифровки. Ученые, занимающиеся теорией информации,

изобретают для гипотетических квантовомеханических компьютеров алгоритмы, которые значительно быстрее классических.

Ученые, занимающиеся квантовой информатикой, пытаются постичь соотношения между классическими и квантовыми единицами информации, ищут новые способы обработки квантовой информации и исследуют чрезвычайно важное квантовое свойство – сцепленность<sup>1</sup> состояний (entanglement), которой обуславливаются сложные связи между различными объектами.

В популярной литературе сцепленность часто описывают как свойство «все или ничего», подразумевая, что квантовые частицы либо сцеплены, либо нет. Однако благодаря развитию квантовой информатики мы узнали, что, подобно энергии, это физическое свойство поддается количественной оценке: в одних случаях сцепленность слабая, в других – сильная. Чем она сильнее, тем система более пригодна для обработки квантовой информации. Постепенно ученые открывают фундаментальные количественные законы (аналогичные законам термодинамики для энергии), описывающие свойства сцепленности и способы ее применения для обработки данных.

### Сложность и кванты

Погода и кучи песка – классические примеры сложных макроскопических систем, состоящих из многих частей. Взаимодействие больших квантовых систем с окружающим миром вызывает нарушение когерентности и как следствие исчезновение квантовых свойств.

Рассмотрим знаменитый пример Эрвина Шредингера с котом внутри закрытой коробки. Кот находится в причудливом квантовом состоянии: нельзя с уверенностью заявить, жив он или мертв. Однако в реальном эксперименте животное взаимодействует с коробкой, а коробка – с окружающим миром. В течение наносекунд хрупкое квантовое состояние внутри коробки разрушается и превращается в классическое. Кот в действительности либо жив, либо мертв и не находится в некоем таинственном неклассическом состоянии.

Чтобы наблюдать действительно квантовое поведение сложной системы, ее следует изолировать, предотвратив разрушение когерентности и сохранив хрупкие квантовые состояния. Это относительно легко обеспечить для малых систем (таких как атомы, подвешенные в магнитной ловушке в вакууме) и гораздо труднее для больших, которым свойственно сложное поведение. Физикам удается создать большие, хорошо изолированные квантовые комплексы в опытах по сверхпроводимости и квантовому эффекту Холла. На примере этих явлений мы видим, как простые правила квантовой механики порождают нетривиальные законы поведения сложных систем.

### Ресурсы и задачи

В прошлом году Бенджамин Шумахер (Benjamin W. Schumacher) из Кеньон-

#### ОБЗОР: КВАНТОВАЯ ИНФОРМАЦИЯ

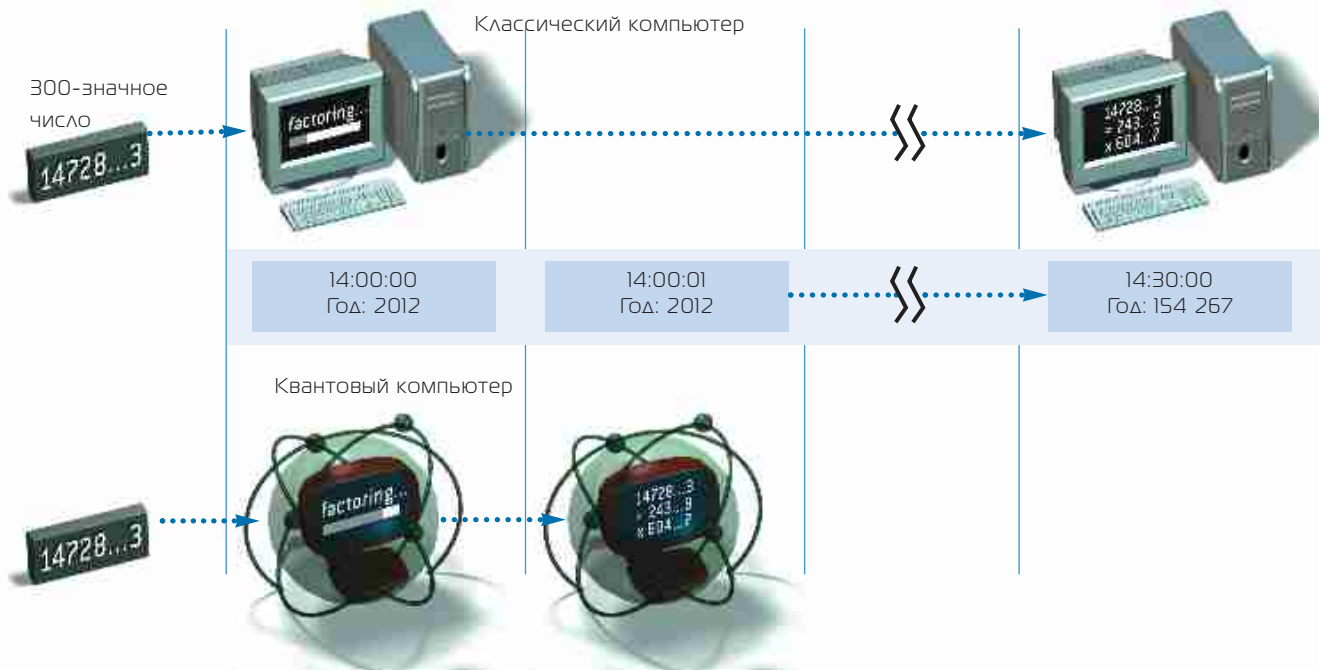
- Информация – не просто математическое понятие, она всегда имеет физическое воплощение, которое в традиционной теории информации следует законам классической физики, а в квантовой информатике – законам квантового мира.
- Базовым ресурсом классической информации является бит, который имеет значение 0 либо 1. Квантовая информация представляется в квантовых битах или кубитах. Кубиты могут находиться в состоянии суперпозиции, которое одновременно включает и 0, и 1. Группы кубитов могут быть сцеплены (entangled), т.е. необычным образом коррелированы.
- Квантовые компьютеры, обрабатывающие одиночные и сцепленные кубиты, могут существенно превзойти классические ЭВМ по своим характеристикам. Сцепленность можно использовать для обработки квантовой информации.
- Цель квантовой теории информации – выявление общих принципов, управляющих поведением таких сложных квантовых систем, как квантовые компьютеры. Если законы квантовой механики – это правила игры, то искомые принципы – эвристика опытного игрока.

<sup>1</sup> Английский термин *entanglement* переводится в русской физической литературе как «запутанность» или «перепутанность». Термин «сцепленность» используется в книге А.С. Холево «Введение в квантовую теорию информации».

Основной вопрос

Большую часть теории информации, как классической, так и квантовой, можно охватить, анализируя различные постановки основного вопроса: «Какое количество информационного ресурса нужно для выполнения данной задачи обработки информации?»  
 Например, сколько шагов вычислений необходимо для оты-

скания простых множителей данного 300-значного числа? Лучший классический алгоритм требует примерно  $5 \cdot 10^{24}$  шагов или около 150 тыс. лет при скорости вычислений порядка терагерц (1 000 ГГц). Используя преимущества квантовых состояний, квантовый алгоритм требует  $5 \cdot 10^{10}$  шагов и выполняется меньше секунды при той же скорости.



ского колледжа представил самые важные элементы, как классической, так и квантовой информатики в виде процедуры, состоящей из трех шагов:

1. Выбрать физические ресурсы. Обычным классическим примером является строка битов. И хотя о битах часто думают как об абстрактных сущностях – нулях (0) и единицах (1), – вся информация неизбежно кодируется в реальных физических объектах, т.е. строку битов следует рассматривать как физический ресурс.
2. Сформулировать задачу обработки информации, которая может выполняться с помощью физического ресурса из шага 1. Классический пример – состоящая из двух частей задача сжатия данных (например, текста книги) в строку битов и последующего восстановления исходной информации.

3. Выбрать критерий успешного выполнения задачи из шага 2. В нашем примере критерием могло бы быть точное совпадение результата декомпрессии с исходными данными, подвергшимися упаковке.

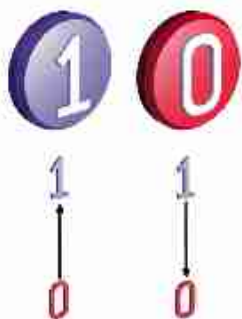
Итак, главный вопрос теории информации таков: какова минимальная величина физического ресурса (1), необходимая для выполнения задачи обработки информации (2) в соответствии с критерием успеха (3)? И хотя этот вопрос не охватывает всю теорию информации, он снабжает нас мощной лупой, помогающей детально рассмотреть большинство исследований в данной области (см. рис. на стр. 53).

Для случая со сжатием данных основной вопрос классической теории информации звучит так: каково минимальное число битов, необходи-

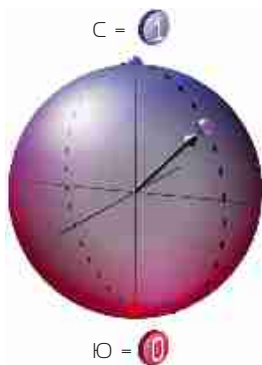
мое для хранения информации, создаваемой некоторым источником данных? Эта задача была решена Клодом Шенноном (Claude E. Shannon) в его знаменитых статьях 1948 г., заложивших основы теории информации. Шеннон измерил количество информации, определив таким образом минимальное число битов, необходимое для надежного хранения выходного сигнала источника. Полученное им математическое выражение для количества информации известно в наше время как шенноновская энтропия. Изучение ее свойств помогает анализировать процессы гораздо более сложные, чем сжатие данных. Понятие энтропии занимает центральное место при вычислении количества информации, которое можно надежно передать ▶

## Свойства кубита

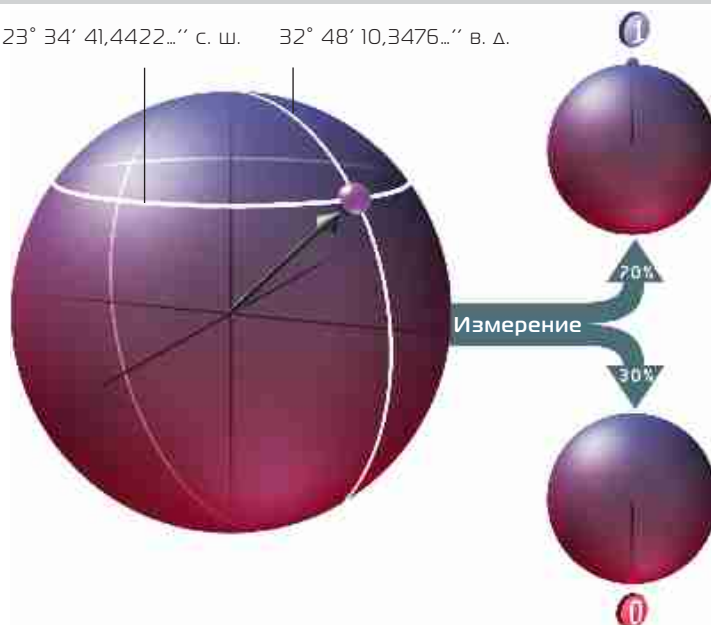
Бит может иметь одно из двух состояний: 0 или 1. Поэтому бит можно представить абстрактно – стрелкой, направленной вверх или вниз.



Кубит – квантовая версия бита – имеет намного больше возможных состояний. Эти состояния можно представить стрелкой, указывающей на точку сферы. Северный полюс сферы эквивалентен 1, а южный – 0. Другие положения соответствуют квантовым суперпозициям 0 и 1.



23° 34' 41,4422...'' с. ш. 32° 48' 10,3476...'' в. д.



Может показаться, что кубит способен содержать бесконечное количество информации, так как координаты кодируют бесконечную последовательность цифр. Но информация должна быть извлечена из кубита путем измерения. Квантовая механика требует, чтобы результат измерения кубита всегда был одним обычным битом – 0 или 1. Вероятность каждого результата измерений зависит от «широты» кубита.

по зашумленному каналу связи и даже при осмыслении азартных игр и характеристик фондовой биржи.

В квантовой теории информации все три элемента списка Шумахера приобретают новый ракурс. Какие же новые физические ресурсы становятся доступными в квантовой механике? Какие задачи обработки информации мы сможем решить? Каковы соответствующие критерии успеха? К ресурсам теперь относятся совмещенные состояния, как у идеализированного кота Шредингера, одновременно живого и мертвого. В число процессов могут входить манипуляции со сцепленностью – загадочной квантовой корреляцией между далеко отстоящими объектами. Критерии успеха становятся менее явными по сравнению с классическим случаем: чтобы извлечь результат обработки квантовой информа-

ции, необходимо произвести наблюдение или измерение, которое почти неизбежно изменит состояние системы, нарушив уникальные квантовые состояния суперпозиции.

### Кубиты

Базовый ресурс квантовой теории информации – квантовые биты, или кубиты. Подобно биту кубит – абстрактный квантовый объект, не связанный с принципами квантовой механики. Биты можно представлять как намагниченные участки на дисках ЭВМ, напряжения в схемах или графитовые метки, сделанные карандашом на бумаге. Как и в случае бита, свойства кубита не зависят от его физической реализации, скажем, в виде спина атомного ядра или в виде поляризации фотона.

Как и классический бит, кубит олицетворяет единицу или ноль. Однако

в квантовой механике *любой* объекту непременно свойственен диапазон суперпозиций, содержащих в разной степени оба исходных состояния. Поэтому значения кубита как бы соответствуют точкам на поверхности сферы, где 0 и 1 – южный и северный полюсы (см. рис. на стр. 54). Наличие континуума состояний между 0 и 1 – причина многих необычных свойств квантовой информации.

Сколько классической информации мы можем сохранить в кубите? Казалось бы, бесконечное количество. Чтобы задать квантовое состояние, мы должны указать широту и долготу соответствующей точки на сфере, в принципе, с произвольно большой точностью. Эти числа можно кодировать как длинную строку битов. Например, строкой 011101101... можно кодировать состояние с широтой 01 градусов, 11 минут и 01,101... секунды.



Рассуждение выглядит правдоподобным, но оно неверно. Действительно, в одном кубите можно закодировать бесконечное количество классической информации, однако извлечь ее обратно нельзя. Определение состояния кубита с помощью обычного прямого измерения даст в результате либо 0, либо 1 (южный или северный полюс) с вероятностью, зависящей от широты исходного состояния. Вместо оси «север–юг» можно взять ось «Мельбурн – Азорские острова», но снова удастся извлечь только один бит информации, хотя вероятность нуля и единицы будет по-другому зависеть от широты и долготы состояния. Какой способ измерения ни выбери, прочесть можно единственный бит.

Этот удивительный результат был получен в 1973 г. Александром Холево (Математический институт им. В.А. Стеклова РАН), который доказал гипотезу, высказанную Дж. Гордоном (J.P. Gordon) (AT&T Bell Labs) в 1964 г. Все выглядит так, как если бы кубит содержал скрытую информацию, которой мы можем манипулировать, но не можем прочесть. Однако лучше рассматривать ее как единицу квантовой информации, а не как бесконечное число недоступных классических битов.

Обратите внимание, что этот пример соответствует парадигме Шумахера для теории информации. А. Холево и Дж. Гордон пытались ответить на вопрос: сколько кубитов (физический ресурс) требуется для хранения заданного количества классической информации (задача) таким образом, чтобы ее можно было надежно восстановить (критерий успеха)? Они ввели математическую величину, обозначаемую греческой буквой  $\chi$  (хи), которая, подобно энтропии по Шеннону, употребляется для упрощения анализа сложных явлений. Например, Михал Городецки (Michal Horodecki) из Гданьского университета показал, что введенная Холево величина  $\chi$  может быть использована при рассмотрении задачи сжатия квантовой информации.

## Сцепленные состояния

Отдельные кубиты интересны, но при объединении нескольких кубитов возникают еще более поразительные особенности поведения. Главная черта квантовой теории информации – представление о том, что два и более квантовых объекта могут иметь сцепленные (связанные между собой) состояния. Свойства таких состояний принципиально отличаются от всего известного в классической физике. Это совершенно новый вид физического ресурса, который можно использовать для постановки интересных задач.

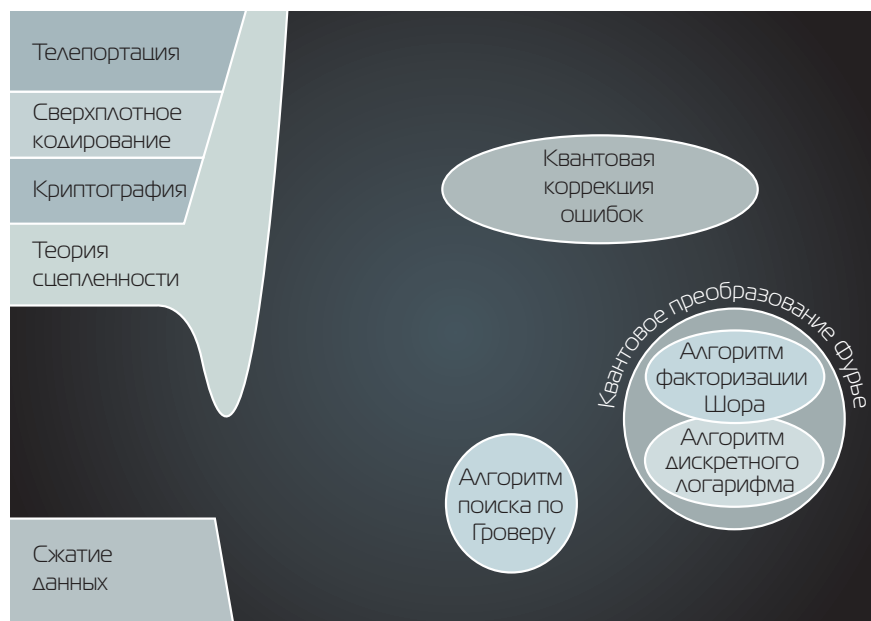
Сцепленность произвела на Шредингера такое впечатление, что в 1935 г. он назвал это свойство «самой главной характерной особенностью квантовой механики, которая заставляет полностью отказаться от классических представлений» (в этом же году он представил миру своего знаменитого кота). Отдельные члены группы

сцепленных объектов не имеют индивидуальных квантовых состояний, и только группа в целом имеет четко определенное состояние (см. рис. на стр. 56). Это явление гораздо более необычно, чем суперпозиция нескольких классических состояний, которая все же характеризует вполне определенное квантовое состояние отдельной частицы.

Сцепленные объекты связаны между собой независимо от того, как далеко друг от друга они расположены, – состояние ни в малейшей степени не ослабляет сцепленности. Если какой-то объект сцеплен с другими, измерение его состояния одновременно дает сведения о его партнерах. Можно ошибочно предположить, что сцепленность можно использовать для передачи сигналов быстрее скорости света, вопреки постулату частной теории относительности. Однако этому препятствует вероятностная природа квантовой механики.

## Здесь могут водиться квантовые тигры

Можно составить карту областей, в которых специалисты по квантовой информатике проводят свои исследования. Один из путей заполнить пробелы между простым и сложным – разработка всеобъемлющей теории сцепленности, аналогичной теории энергии в классической термодинамике.



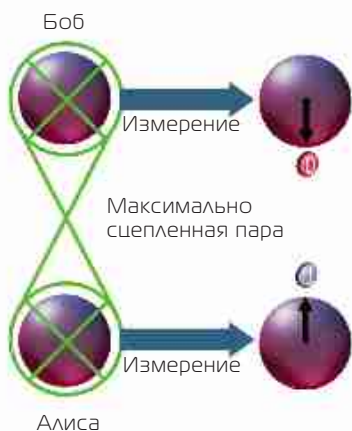
Увеличение сложности

## Распутывая сцепленность



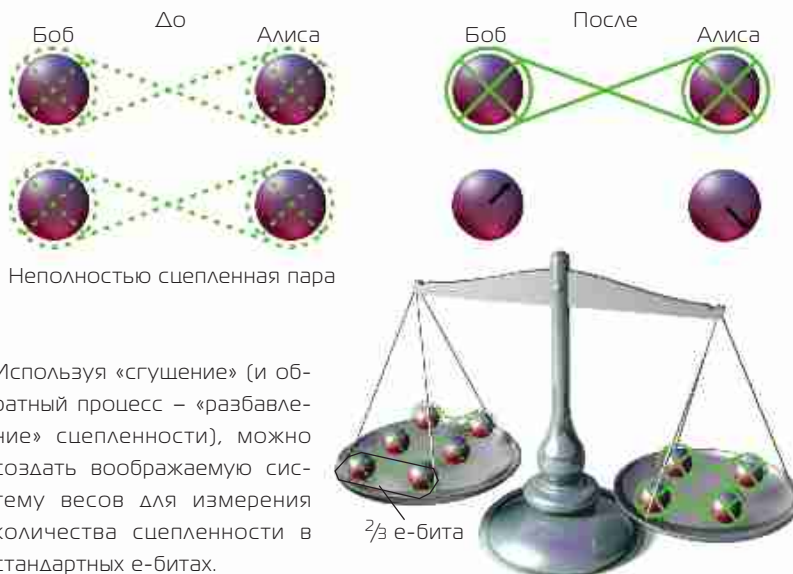
## Стандартный е-бит

Когда два кубита сцеплены между собой, они лишены индивидуальных квантовых состояний. Вместо этого появляется зависимость между ними. Например, для одного типа максимально сцепленной пары кубиты при измерении дают противоположные результаты. Если один дает 0, то другой – 1, и наоборот. Максимально сцепленная пара несет один е-бит сцепленности.



## «Взвешивание» сцепленности

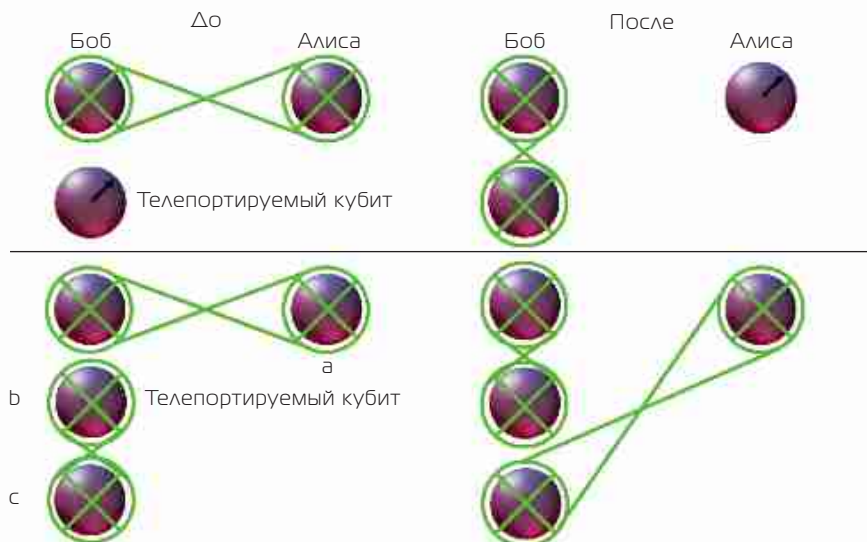
Неполностью сцепленные пары несут на себе меньше одного е-бита. Если у Алисы и Боба есть две частично сцепленные пары, они могут попытаться «сконцентрировать» («сгустить») всю сцепленность на одной паре. Если получится максимально сцепленная пара, то Алиса и Боб будут знать, что исходно их пары содержали в общем, по крайней мере, один е-бит сцепленности.



## Квантовая телепортация

Если у Алисы и Боба есть один е-бит на двоих, они могут телепортировать один кубит. После телепортации этот е-бит уже не будет общим.

Если Боб телепортирует Алисе участника (b) сцепленной пары, то сцепленность с его исходным партнером (c) переносится на частицу Алисы (a). Однако Алиса и Боб не могут использовать телепортацию для увеличения запаса общих е-битов.



Сцепленность долго рассматривалась как некий курьез и по большей части игнорировалась физиками. Положение изменилось лишь в 60-х годах, когда Джон Белл (John S. Bell) из *CERN* – Европейской лаборатории физики элементарных частиц близ Женевы – предсказал, что с помощью сцепленных квантовых состояний можно экспериментально проверить различия между квантовой механикой и классической физикой. Результаты экспериментов подтвердили, что квантовые системы в состоянии сцепленности демонстрируют поведение, невозможное в классическом мире, – невозможное, даже если изменить законы природы, чтобы имитировать квантовый мир в рамках классической физики!

В начале 90-х мысль о том, что сцепленность лежит вне круга вопросов классической физики, заставила исследователей задуматься: поможет ли сцепленность по-новому решать задачи обработки информации? Ответ однозначный – да. В 1991 г. Артур Экерт (Artur K. Ekert) из Кембриджского уни-

**«Взвешивание» сцепленности**

Аналогично отдельным кубитам, которые можно представить с помощью различных физических объектов, свойства сцепленности не зависят от ее физического представления. Может оказаться, что на практике удобнее работать с той или иной системой, но это не имеет принципиального значения. Например, для квантовой криптографии можно использовать сцепленные пары и фотонов, и атомных ядер, и даже пара «фотон–ядро».

Во второй половине 90-х исследователи показали, что различные формы сцепленности качественно эквивалентны – так, сцепленность одного состояния может быть перенесена на другое, подобно энергии, текущей от зарядного устройства в аккумулятор. Основываясь на качественных соотношениях, ученые пытаются определить количественную меру сцепленности. Проработка этих вопросов продолжается, и пока нет согласия в выборе способа количественной оценки этой величины.

рием успешности выполнения. Для измерения количества сцепленности выясняем, сколько нужно физического ресурса, чтобы успешно выполнить задачу.

Теория сцепленности разрабатывается «снизу вверх» – начиная с простых вопросов об измерении («взвешивании») сцепленности, мы постепенно углубляемся в рассмотрение более сложных явлений. Но интуиция зачастую помогает ученым решать вопросы квантовой теории информации «сверху вниз». Самый известный пример – алгоритм быстрого нахождения простых множителей составного целого числа на квантовом компьютере, сформулированный в 1994 г. Питером Шором (Peter W. Shor) из *AT&T Bell Labs*. В случае классического алгоритма увеличение факторизируемого числа приводит к экспоненциальному росту требуемых ресурсов. Так, для разложения на множители 500-значного числа нужно в 100 млн. раз больше итераций, чем для 250-значного. Для алгоритма Шора объем не-

Поведение сцепленных квантовых систем совершенно невозможно в любом классическом мире.

верситета придумал, как применить сцепленность для передачи криптографических ключей, не поддающихся перехвату. В 1992 г. Чарльз Беннет (Charles H. Bennett) из *IBM* и Стивен Виснер (Stephen Wiesner) из Тель-Авивского университета показали, что сцепленность можно использовать при пересылке классической информации (процесс, названный сверхплотным кодированием, при котором два бита переносятся частицей, которая должна бы передавать только один бит). В 1993 г. группа исследователей предложила способ телепортации квантового состояния из одного места в другое с помощью сцепленности. Затем хлынули различные предложения по практическому использованию свойств сцепленности.

На сегодня наиболее успешная схема опирается на понятие о стандартной единице сцепленности, которая напоминает единицу массы или энергии (см. рис. на стр. 56).

Такой подход напоминает измерение массы с помощью весов. Ученые разработали гипотетические «весы» для сравнения сцепленности в двух различных состояниях. Величина сцепленности в данном состоянии определяется тем, сколько копий эталонной единицы сцепленности нужно для уравнивания. Такой способ количественной оценки сцепленности – еще один пример постановки основного вопроса теории информации. Мы определили физический ресурс (копии нашего сцепленного состояния) и задачу с крите-

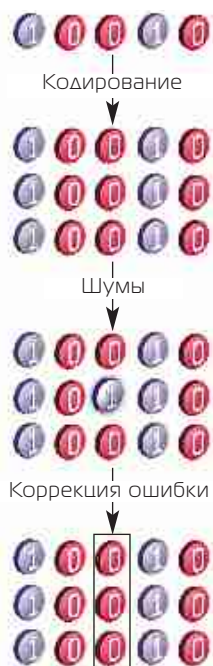
обходимых ресурсов растет лишь полиномиально – 500-значное число требует всего в 8 раз больше шагов, чем 250-значное.

Алгоритм Шора – это еще один пример основной парадигмы: сколько вычислительного времени требуется для нахождения множителей *n*-значного целого числа, хотя он и представляется изолированным от других достижений квантовой теории информации (см. рис. на стр. 55). На первый взгляд – это просто хитрый программистский прием. Однако исследователи доказали, что алгоритм Шора можно интерпретировать как пример процедуры определения энергетических уровней квантовой системы, т.е. как процесс, фундаментальность которого более очевидна. ▶

## Исправление ошибок

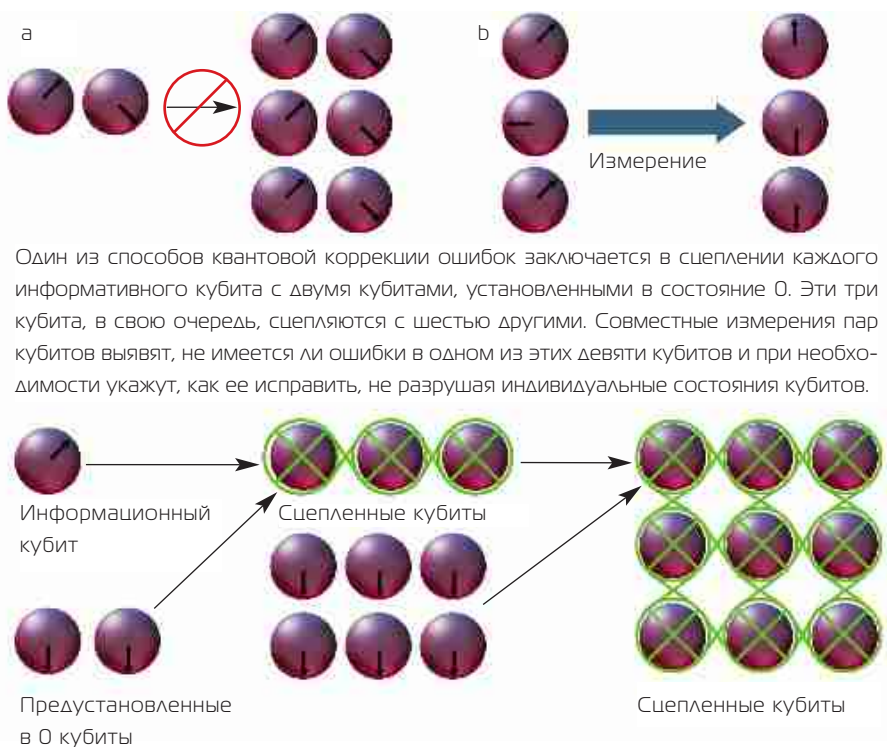
### Классический код с повторением

В простой классической схеме борьбы с ошибками каждый бит кодируется как триплет одинаковых битов. Если шумы переворачивают один бит, ошибку можно исправить, изменив тот бит в триплете, который отличается от двух других.



### Коррекция ошибок для кубитов

Стратегию повторения нельзя применить для кубитов по двум причинам. Во-первых, кубиты, находящиеся в неизвестных состояниях, нельзя в точности клонировать (а). Но даже если дубликаты будут созданы (например, многократным повторением вычислений), простое измерение не выявит ошибок (б).



ОБ АВТОРЕ:

**Майкл Нильсен** (Michael A. Nielsen) – адъюнкт-профессор физического факультета университета штата Квинсленд (Брисбен, Австралия). Окончил университет в Нью-Мексико, там же защитил кандидатскую диссертацию по физике. Вместе с Исааком Чуангом (Isaac L. Chuang) из Массачусетского технологического института написал первый подробный университетский учебник по квантовой теории информации «Квантовые вычисления и квантовая информация» (Quantum Computation and Quantum Information).

И, наконец, последний практический пример – квантовая коррекция ошибок. Хрупкие квантовые состояния легко разрушаются посторонними воздействиями или шумами. Поэтому методы повышения помехоустойчивости имеют огромное значение.

Для классической вычислительной техники и техники связи давно разработан целый ряд кодов с исправлением ошибок для защиты информации от разрушительного действия шума. Простой пример – код с повторениями (см. рис. на стр. 58). В этой схеме ноль изображается как строка из трех битов: 000, а единица – как строка из трех битов: 111. Если шум относи-

тельно мал, он может инвертировать один из битов в триплете, например, 000 на 010; изменение же двух битов в триплете происходит значительно реже. Если встречается триплет 010 (или 100, или 001), то правильное значение, скорее всего, равно 000, т.е. был передан ноль. Более сложные обобщения этой идеи дают очень хорошие коды с коррекцией ошибок для защиты классической информации.

### Квантовая коррекция ошибок

Казалось бы, невозможно разработать коды для квантовой коррекции

ошибок, так как в квантовой механике нельзя с определенностью установить неизвестное нам состояние квантового объекта, как нельзя извлечь из кубита больше одного бита. Поэтому простой классический код с тройным повторением здесь ничего не дает, ибо невозможно прочесть значение одной составляющей триплета, не разрушив все остальные. Хуже того, нельзя взять кубит, находящийся в неизвестном состоянии,

Квантовая коррекция ошибок – триумф науки, достигнутый благодаря объединению теории информации с квантовой механикой. Разработанные методы удалось проверить на практике в Лос-Аламосской национальной лаборатории, в *IBM* и в Масачусетском технологическом институте. Намечена программа более глубоких исследований.

Успехи квантовой информатики стимулируют появление новых идей.

характеризоваться чрезвычайно высокой врожденной сопротивляемостью к разрушению когерентности.

Итак, мы рассмотрели, как квантовая теория информации развивается от определения фундаментальных вопросов к пониманию сложных систем. Что нас ждет в будущем? Следуя программе Шумахера, мы, конечно, постигнем скрытые вычислительные возможности Вселенной. Возможно, методы квантовой теории информа-

## Квантовая коррекция ошибок могла бы повысить точность самых лучших в мире часов.

и создать его дубликат. Это положение известно как теорема о невозможности клонирования.

Ситуация выглядела совсем мрачно до середины 90-х, когда несколько известных физиков, в том числе Рольф Ландауэр (Rolf Landauer) из *IBM*, написали ряд скептических статей, указывающих, что для квантовых вычислений необходимо иметь квантовую коррекцию ошибок, но в квантовом мире стандартные классические методы использовать не удастся. Мы многим обязаны скептицизму Ландауэра, указавшего на трудности, которые предстояло преодолеть.

К счастью, в 1995 г. Питер Шор и Эндрю Стин (Andrew M. Steane) из Оксфордского университета независимо друг от друга предложили методу квантовой коррекции ошибок, не требующую клонирования кубитов и выяснения их состояний. Как и в случае триплетного кода, каждое значение изображается набором кубитов. Эти кубиты обрабатываются квантовой логической схемой, которая успешно фиксирует ошибку в любом из кубитов без фактического считывания их индивидуальных состояний. Если триплет 010 проходит через такое устройство, то оно фиксирует, что средний бит отличается от соседей, и переворачивает его, не определяя конкретные значения ни одного из трех битов.

Например, точность лучших в мире часов ограничена квантовомеханическими шумами, и ученые задаются вопросом: нельзя ли ее повысить с помощью квантовой коррекции ошибок? Другую интересную мысль высказал Алексей Китаев из Калифорнийского технологического института: некоторые физические системы могут обладать чем-то вроде естественной устойчивости к шумам. В таких системах квантовая коррекция ошибок происходит без вмешательства человека, и они могут хара-

кции позволят увидеть что-то новое в системах, которые пока не используются для обработки данных. Например, в конденсированных средах можно наблюдать высокотемпературную сверхпроводимость и частичный квантовый эффект Холла. Такие квантовые свойства, как сцепленность, играют в этих явлениях пока неясную, но, несомненно, важную роль. Достижения квантовой теории информации повышают наши шансы на победу в шахматной партии со сложным квантовым миром. ■

### ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ:

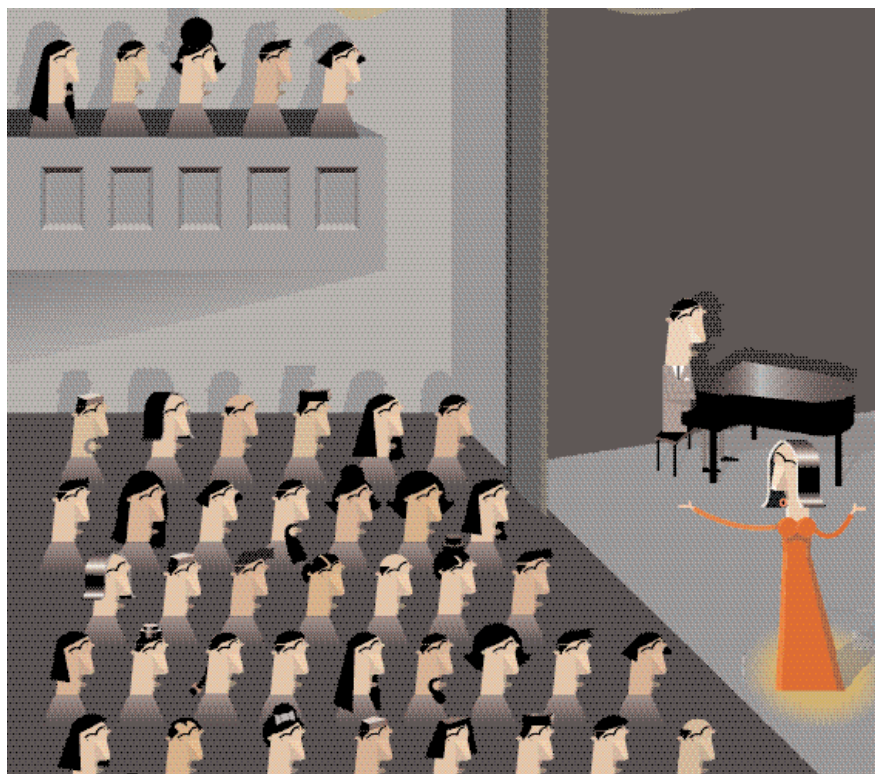
1. Валиев К. А., Кокин А. А. Квантовые компьютеры: надежды и реальность. – М.–Ижевск: РХД, 2001.
2. Дойч Д. Структура реальности. – М.–Ижевск: РХД, 2001.
3. Кадомцев Б. Б. Динамика и информация. – М.: редакция журнала «Успехи физических наук», 1999.
4. Холево А. С. Введение в квантовую теорию информации. – М.: МЦНМО, 2002.
5. Deutsch David The Fabric of Reality. – Penguin Books, 1998.
6. Quantum Theory and Measurement. Edited by John A. Wheeler and Wojciech H. Zurek. Contains reprints of other landmark papers, including a translation of Erwin Schrödinger's 1935 «cat paradox» paper. – Princeton University Press, 1983.
7. Siegfried Tom The Bit and the Pendulum. – John Wiley & Sons, 2000.
8. Nielsen Michael A., Chuang Isaac L. Quantum Computation and Quantum Information. – Cambridge University Press, 2000.
9. The Center for Quantum Computation's Web site at [www.qubit.org](http://www.qubit.org)
10. John Preskill's lecture notes are available at [www.theory.caltech.edu/people/preskill/ph229/](http://www.theory.caltech.edu/people/preskill/ph229/)

# ТЕХНОЛОГИИ

# ПРОТИВ

# ТЕРРОРА

Рокко Касагранде



тител и работающие наподобие «электронных носов», способных учуять смертоносные микроорганизмы.

## Как узнать, что мы подверглись нападению?

Биологическое оружие очень коварно. Облако бактерий или вирусов почти невидимо: у него нет ни цвета, ни запаха. Вдыхая смертоносные микроорганизмы, человек ничего не замечает. Только через несколько дней у него проявляются симптомы болезни. Но его, возможно, уже не удастся спасти, как и не удастся предотвратить дальнейшее распространение инфекции. Большинство вирусов и бактерий не слишком заразны, но если вовремя не обнаружить неизвестный болезнетворный агент, то последствия для уже инфицированного человека могут стать крайне серьезными.

К счастью, у многих инфекционных заболеваний большой инкубационный период. За это время можно успеть изолировать и подвергнуть санитарной обработке больных, а также провести вакцинацию населения. Если диагностировать болезнь еще до появления симптомов, то можно использовать антибиотики. Однако когда признаки заболевания уже проявились – они бесполезны.

Раннее обнаружение болезнетворных агентов важно еще и потому, что вызываемые ими заболевания нередко маскируются под обычный грипп – те же повышенная температура и общее недомогание. Студентам-медикам часто

В мае 2000 г. высокопоставленные члены правительства США с ужасом наблюдали, как облако смертоносных бактерий накрывает Денверский театральный центр – комплекс из семи театров на 7000 зрителей. Через неделю тысячи человек заболели чумой или умерли. Границы штата Колорадо были закрыты, запасы продуктов питания и медикаментов подходили к концу, медицинскую помощь оказывать было некому – все врачи тоже были больны. К счастью, ничего подобного на самом

деле не случилось. Это был лишь воображаемый сценарий, разыгранный в рамках учения под кодовым названием *Top Off*, компьютерное моделирование ситуации, которая могла бы сложиться в результате биологической атаки террористов. Сейчас ученые заняты разработкой целого ряда систем раннего оповещения, которые смогут незамедлительно информировать о применении биологического оружия. В основу этой технологии лягут детекторы, содержащие чипы на основе ДНК или ан-

## Биологи и инженеры работают над созданием систем раннего оповещения о применении биологического оружия, которые помогли бы предотвратить последствия катастрофы.

повторяют фразу: «Услышав цокот копыт, думайте прежде всего о лошади, а не о зебре», как бы предупреждая, что при постановке диагноза следует сначала исключить наиболее распространенные заболевания. В повседневной практике такой подход вполне оправдан, он позволяет сэкономить время и силы. Однако в экстремальных ситуациях он может привести к потере драгоценного времени. Биодетекторы иногда называют зебра-чипами или Z-чипами – в напоминание о виртуальной зебре.

Ведя биологическую войну, противник может использовать зараженные продукты питания и воду, а также переносчиков болезнетворных микроорганизмов – различных насекомых (например, комаров). Однако таким способом вряд ли удастся инфицировать тысячи людей. Биологическое оружие становится оружием массового поражения, сравнимым по числу жертв с ядерным, только если патоген распыляется в воздухе в виде аэрозольных частиц. Крошечные капельки диаметром порядка одного микрона ( $10^{-6}$  м) разлетаются на большие расстояния и, проникая глубоко в легкие, вызывают опасные системные поражения.

Биологические агенты очень трудно идентифицировать – они чрезвычайно разнообразны. Это могут быть бактерии, вирусы или токсичные продукты их жизнедеятельности. Даже ничтожно малые их количества смертельно опасны. Иногда достаточно, чтобы в легкие попало всего 10 микробных частиц, при том, что человек вдыхает ежеми-

нутно примерно 6 литров воздуха. Чтобы вовремя предупредить людей, нужен высокочувствительный детектор, способный улавливать крошечное количество бактериальных или вирусных частиц – числом не более двух в литре. Невообразимо малая величина!

Первые биодетекторы обнаруживали лишь аэрозольные облака. Некоторые из них (например, XM2, находившийся на вооружении армии США во время войны в Персидском заливе) брали пробы воздуха и подсчитывали частицы определенного размера, среди которых могли оказаться бактерии или вирусы. Если их концентрация превышала допустимую норму, включался сигнал тревоги, оповещающий войска об эвакуации. Есть и другие детекторы – они используют так называемый лидар, похожий на радар, но испускающий не радиоволны, а лазерное излучение. Луч лазера отражается от частиц, взвешенных в воздухе, и регистрируется прибором. При низкой влажности радиус действия таких датчиков – 50 км, однако они не могут отличить бактериальные частицы от частичек пыли или дыма.

Современные лидары устроены по-другому: они используют способность клеток к флуоресценции в ультрафиолетовом (УФ) свете. Эти аппараты испускают пучок УФ-света, индуцируют флуоресценцию биологических частиц, взвешенных в воздухе, и регистрируют испускаемый ими свет. Но и они не отличают патогенные микро-

организмы от вполне безопасных. Тем не менее их можно использовать при эвакуации войск, а также в качестве инструмента, оповещающего о необходимости применения более чувствительного детектора.

### Иголка в стоге сена

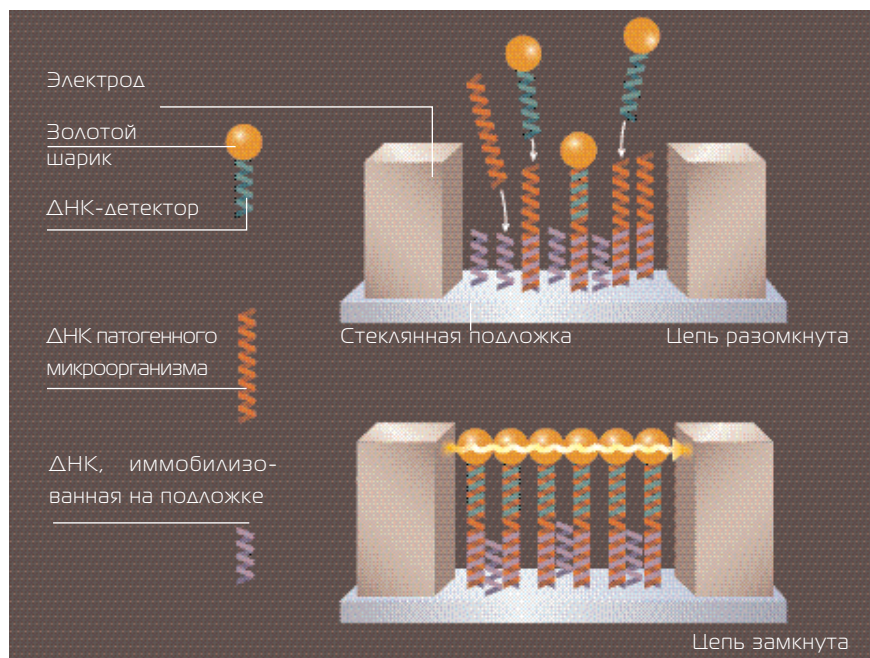
Новейшие биодетекторы способны отличать патогенные микроорганизмы от безопасных и от других биологических агентов, основываясь на различиях в их генетическом материале. Правда, тут есть одна тонкость: ДНК всех микроорганизмов защищена белковой оболочкой, и, прежде чем проводить измерения, ее необходимо удалить. Поэтому некоторые детекторы (например, *Gene-Xpert* фирмы *Cepheid*) снабжены специальным устройством, разрушающим клетки.

Один из первых ДНК-чипов был создан в Северо-Западном университете в Эванстоне, штат Иллинойс. При его разработке использовалось основное свойство молекулы ДНК – комплиментарность ее цепочек, образующих двойную спираль. Молекула ДНК напоминает винтовую лестницу, ступеньками которой служат пары азотистых оснований. Когда происходит копирование ДНК (репликация), предшествующее делению клетки, «ступеньки» расщепляются посередине, и комплиментарные цепочки расходятся. Оснований, составляющих «ступеньки», четыре: аденин (А), тимин (Т), цитозин (С) и гуанин (G). В двойной спирали А всегда находится ▶

в паре с Т, а G – с С. Последовательность оснований в одной цепи (например, АТСГСС) однозначно задает последовательность оснований в другой (в данном случае это будет цепочка TAGСGG).

Чувствительным элементом биодетектора, созданного в Северо-Западном университете США, служат одиночные цепочки ДНК, комплиментарные коротким сегментам геномной ДНК патогенного микроорганизма. Эти цепочки «пришиты» к стеклянной подложке между двумя электродами. Когда ДНК патогенного организма попадает в датчик, она связывается одним своим концом (гибридуется) с иммобилизованной ДНК. Чтобы зарегистрировать гибридизацию, к другому концу гибридизовавшегося сегмента бактериальной ДНК «пришивают» комплиментарный кусочек ДНК с частицей золота. Выстраиваясь в ряд, эти частицы замыкают электрическую цепь между электродами, и раздается сигнал тревоги.

Другой ДНК-детектор использует для идентификации генетического материала патогенного микроорганизма так называемую полимеразную цепную реакцию. Этот метод состоит в следующем: образец ДНК нагревают до температуры, при которой разрываются химические связи между комплиментарными основаниями – теми самыми, которые образуют «ступеньки» винтовой лестницы. «Боковины» лестницы расходятся, и образуется одноцепочечная ДНК. Образец охлаждают до комнатной температуры и добавляют два коротких фрагмента ДНК,



БИОЧИП НА ОСНОВЕ ДНК обнаруживает генетический материал патогенного микроорганизма. Между электродами чипа образуется мостик из частичек золота, связанных с фрагментами ДНК, который замыкает электрическую цепь и включает сигнал тревоги.

называемых праймерами. Они гибридизуются только с теми последовательностями в исследуемой молекуле ДНК, которые обрамляют сегмент, служащий «опознавательным знаком» патогенного микроорганизма. Затем в реакционную смесь добавляют ферменты, удлиняющие праймеры, т.е. копирующие (амплифицирующие) те цепочки ДНК, с которыми эти праймеры гибридизовались. Так из двух родительских цепочек образуются четыре. Весь цикл – нагревание образца, охлаждение, гибридизацию, амплифика-

цию – повторяют снова и снова, пока не получат ДНК в количестве, достаточном для регистрации. Чтобы следить за ходом амплификации, в синтезируемую ДНК включают флуоресцентно меченые нуклеотиды. Весь процесс амплификации автоматизирован, один раунд занимает не более минуты, и уже через тридцать минут можно узнать, принадлежит ли попавшая в детектор ДНК патогенному микроорганизму.

Для того чтобы ДНК-детекторы работали, их нужно «загрузить» генетическим материалом, специфичным для предполагаемых патогенных микроорганизмов. Это значит, что необходимо заранее знать, какое именно биологическое оружие могут использовать террористы. Чтобы решить эту проблему, компании *Ibis Therapeutics* (Карлсбад, штат Калифорния) и *Science Applications International Corporation* (Сан-Диего) разработали систему *TIGER* (*Triangulation Identification Genetic Evaluation of biological Risks* – генетическая оценка биологических рисков на основе триангуля-

## КРАТКИЙ ОБЗОР: БИОДЕТЕКТОРЫ

- Бактерии и вирусы, использующиеся в качестве биологического оружия, не имеют ни цвета, ни запаха; обычно проходит несколько дней до появления первых симптомов болезни. Поэтому население может узнать о применении биологического оружия слишком поздно, когда уже ничего нельзя сделать.
- Биологи вместе с инженерами работают над созданием детекторов, содержащих чипы на основе ДНК или антител. Кроме того, они совершенствуют устройства, улавливающие продукты метаболизма бактерий или химических компонентов биологического оружия.
- Решение вопроса о том, где следует размещать биодетекторы, находится в компетенции правительства. Вряд ли стоит устанавливать их на каждом перекрестке.



## РАЗВЕРТЫВАНИЕ СИСТЕМЫ ОПОВЕЩЕНИЯ

Самое трудное – это решить, когда и где использовать биодетекторы.

Биологическое оружие может быть применено в любое время и в любом месте. Какому-нибудь маньяку несложно распылить смертельно опасные микробы на деревенской ярмарке или же в метро в час пик. После 11 сентября 2001 г. стало ясно, что террористический акт можно совершить и в таком мегаполисе, как Нью-Йорк, и в небольшом городке Панксутони в Пенсильвании, жители которого в панике ожидали теракта в День сурка. Мишеней для террористов так много и они так разнообразны, что гарантировать безопасность абсолютно всех невозможно. Однако правильное размещение биодетекторов может значительно сократить масштабы катастрофы.

Нынешние детекторы слишком дороги, чтобы их можно было использовать на каждом углу. Однако особенно уязвимые и значимые для страны места, например Капитолий и Пентагон, необходимо отслеживать круглосуточно. Со временем будут созданы достаточно дешевые и простые в эксплуатации биодетекторы, которые можно будет устанавливать во всех административных зданиях крупных городов.

К сожалению, современные биодетекторы не способны одновременно и отличать патогенные микроорганизмы от безопасных, и осуществлять постоянный мониторинг окружающей среды. Не все они могут отбирать пробы воздуха самостоятельно – это должен делать оператор. А те, которые могут, – работают только по команде, после того как оператор проанализирует предыдущую пробу. Он может делать это с той или иной периодичностью – скажем, раз в час или сразу после проведения предыдущего анализа, но смертоносное облако может пройти над местом наблюдения всего за несколько минут, и если проба взята раньше или позже, оно останется незамеченным.

Некоторые детекторы подсоединены к лидарам и отбирают пробы только тогда, когда в воздухе появляются час-

тицы определенного размера. Их используют и для анализа воды, поступающей по трубопроводам к жизненно важным объектам. Как только счетчик частиц в магистральном трубопроводе зашкаливает, прибор отбирает пробу воды для последующего анализа.

Конечно, хотелось бы, чтобы система раннего оповещения осуществляла

Одна такая система, *LEADERS* (Lightweight Epidemiology Advanced Detection and Emergency Response System), применяется с 2000 г. Она анализирует информацию, поступающую из медицинских учреждений, находящихся в местах проведения массовых мероприятий – съездов политических партий, спортивных соревнований,



Дальнодействующая система оповещения о применении бактериологического оружия, принятая на вооружение армией США, размещена на борту вертолета Black Hawk. Детекторы частиц на основе лидара можно подсоединить к биочипам, способным отличать патогенные микроорганизмы от непатогенных.

непрерывный мониторинг окружающей среды, работала быстро и была недорогой. Но такую систему только предстоит создать. А пока эпидемиологи и программисты работают над составлением общедоступного банка данных, с помощью которого можно будет отслеживать симптомы у пациентов, поступающих в пункты скорой помощи, с тем, чтобы сразу выявить самые первые признаки применения биологического оружия. Если окажется, что в период, когда не ожидается никаких эпидемий гриппа, у многих пациентов проявляются его симптомы, значит, есть основания для беспокойства.

чемпионатов, концертов и т.д. Всем известно, что большинство людей, почувствовав, что они простудились, не обращаются к медикам, поэтому аналитики учитывают и такие показатели, как количество проданных лекарств и пропущенных рабочих дней, число квитанций дорожных сборов (известно, что больной человек реже садится за руль) и т.д. Желательно собирать такую информацию непрерывно и по всей стране, тогда применение биологического оружия удастся сразу зарегистрировать независимо от времени, места и способа, который избрали террористы (см. статью «Неусыпный контроль»).

ционной идентификации). Она использует полимеразную цепную реакцию, но имеет одно существенное отличие – праймеры специфичны к тем сегментам ДНК, которые участвуют в регуляции синтеза белков, т.е. являются важными элементами системы функционирования всех клеток. Эта особенность делает *TIGER*-детекторы крайне чувствительными, поскольку в данном случае нуклеотидная последовательность амплифицируемого сегмента ДНК уникальна для каждого микроорганизма. Амплифицированные сегменты, как обычно, анализируют с помощью масс-спектрометра, сравнивают с банком данных по всем известным микроорганизмам и определяют, патоген ли обнаруженный агент.

К сожалению, ДНК-датчики имеют ограничения. Они не могут обнаружить токсичные вещества и работают слишком медленно.

### Канарейка в угольной шахте\*

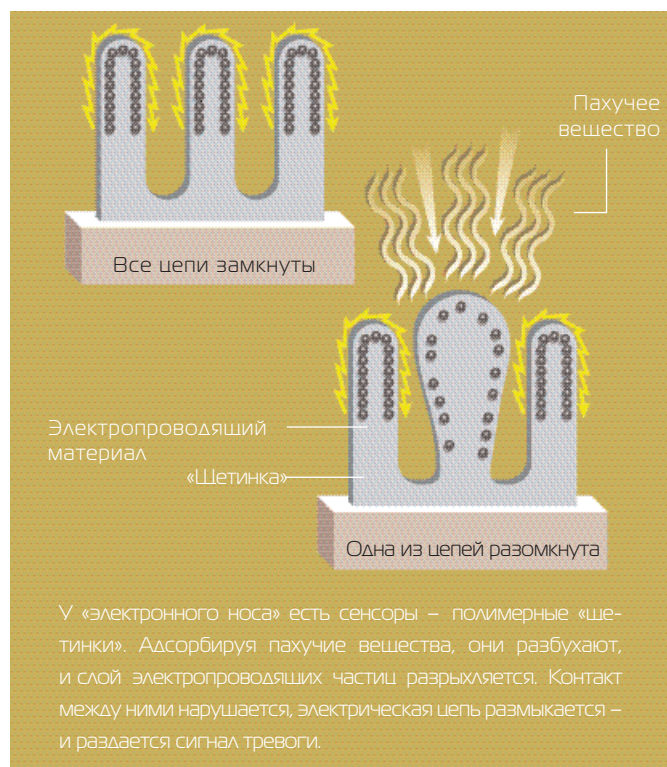
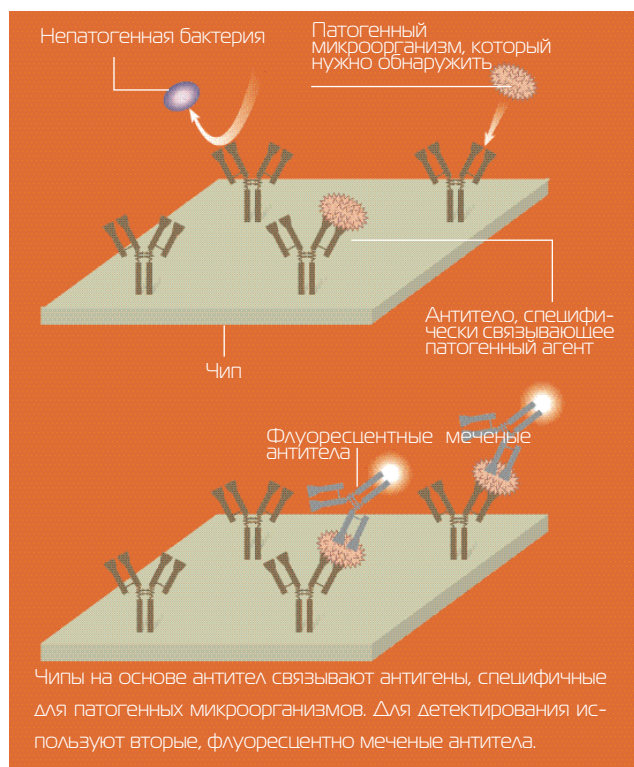
Всех этих недостатков лишены чипы на основе антител – специфических

молекул, вырабатываемых иммунной системой организма, когда в него попадают чужеродные агенты. Антитела распознают молекулы-мишени на поверхности этих агентов (так называемые антигены) и связываются с ними, а потому не нужно тратить время на разрушение белковой оболочки микроорганизмов и выделение ДНК. Кроме того, они могут распознавать токсичные вещества.

Антитела – это «сердце» биодетекторов *Raptor*, разработанных в исследовательской лаборатории ВМС США. Биодетекция осуществляется по принципу сэндвича: патогенные микроорганизмы «прилипают» к антителам, нанесенным на чип, а затем с ними связываются другие, флуоресцентно меченые молекулы антител. *Raptor* способен обнаруживать сразу несколько патогенных агентов, поскольку на подложку можно нанести антитела, специфичные к разным антигенам. Биодетекторы *Origen* компании *Igen* также работают по этому принципу, но вместо флуоресцирующих красителей

в них используется вещество, которое при наложении электрического поля дает световую вспышку. Она гораздо ярче, чем обычная флуоресценция, что позволяет анализировать образцы, содержащие всего несколько патогенных агентов. Кроме того, одно из антител фиксируют на поверхности, что позволяет накапливать патогенные микроорганизмы до регистрации.

Компания *Surface Logic* в сотрудничестве с *Radiation Monitoring Devices* работает над созданием метода непрерывного мониторинга, позволяющего отслеживать микробиологическое состояние окружающей среды. Устройство, соединенное с пробоотборником воздуха, перемешивает частицы образца с раствором микроскопических магнитных шариков. Шарики покрыты флуоресцирующими антителами, специфичными в отношении определенных микроорганизмов. Воздушную струю с магнитными шариками пропускают через микроскопическую трубку (капилляр) диаметром с человеческий волос параллельно



струе, не содержащей никаких микроорганизмов. Эти две струи не смешиваются, пока не дойдут до развилки в трубке. Вблизи развилки находится магнит, притягивающий шарики с «налипшими» на них микробами и направляющий их вместе с потоком чистого воздуха в детектор, который идентифицирует флуоресцирующие микроорганизмы. Главное преимущество этой системы в том, что она сразу отделяет патогенные микроорганизмы от тысяч обычных, совершенно безопасных. Частицы дыма и других примесей не мешают регистрации, поскольку при анализе микрошарики находятся в свободной от них среде. Пробы воздуха отбирают непрерывно и сразу же анализируют, т.е. регистрация осуществляется в режиме on line.

Другие детекторы на основе антител используют для улавливания патогенных микроорганизмов не магниты, а вибрирующие приемники – кристаллы кварца, мембраны и т.д. Вес устройства, захватившего частицы, увеличивается, и колебания замедляются. Это замедление и регистрирует детектор.

### Почуять противника!

Вышеописанные устройства либо уже используются, либо будут запущены в производство в ближайшие годы. Сегодня же ученые разрабатывают новые, более чувствительные приборы, так называемые «электронные носы», способные учуять взрывчатые вещества и химическое оружие.

В одном из таких устройств – *Cyranose*, разработанном фирмой *Cyrano Sciences* в Калифорнии, детектором служит ряд «щетинок» из эластичных полимерных материалов. Каждая из них поглощает определенное количество того или иного вещества и растягивается. Изнутри они покрыты частицами электропроводящего материала. Когда «щетинка» не растянута, частички образуют непрерывный слой и проводят электричество. Адсорбируя химическое

вещество, «щетинка» разбухает, частички перестают контактировать друг с другом, цепь размыкается – и раздается сигнал тревоги. Конструкторы надеются, что им удастся разработать «электронные носы», которые смогут «разнюхивать» продукты жизнедеятельности патогенных микроорганизмов или особые химические вещества-стабилизаторы – обязательные компоненты биологического оружия. Задача в том, чтобы создать электрическую цепь, характер разрыва которой зависел бы от природы химического вещества.

Новейшие разработки фирмы *BCR Diagnostics* из Джеймстауна направлены на создание методов обнаружения биологических агентов с помощью «спящих» форм некоторых бактерий – спор. Когда частицы исследуемого микроорганизма попадают в биодетектор, продукты их метаболизма переводят некое питательное вещество в камере детектора из неактивной формы в активную, и споры «просыпаются» – начинают прорастать. При этом используются не обычные споры, а генетически модифицированные (прорастая, они светятся); этот свет и регистрирует детектор. К сожалению, ему все равно, какой микроб запустил процесс – патогенный или нет. Но можно подобрать такие питательные вещества, которые переходят в активную форму только под действием патогенных микроорганизмов из числа тех, которые предположительно могут использоваться в качестве биологического оружия.

Конечно, изощренный террорист может обмануть самый совершен-

ный биодетектор. Например, методами генной инженерии можно сконструировать микроорганизм, безобидный во всех отношениях, кроме одного – он вырабатывает смертоносные токсины. Идеальный биодетектор должен реагировать на патогенный микроорганизм точно так же, как и поражаемая этим микроорганизмом живая мишень, но гораздо быстрее. И, наконец, еще об одном биодетекторе – «клеточном». Управление перспективного планирования научных исследований в области обороны в настоящее время финансирует работы по созданию биодетектора с использованием живых клеток человека. Идея состоит в том, что патогенный микроорганизм непременно убивает хотя бы какие-то клетки и, определяя число погибших клеток в камере детектора, можно судить о наличии в воздухе патогенных микробов.

Несмотря на угрожающую мощь биологического оружия, ни одна страна или террористическая организация, к счастью, ни разу не применила его для массового уничтожения людей. Так что биодетекторы пока не пришлось использовать по их прямому назначению. Но «мечи можно перековать на орала» – применять эти устройства для идентификации патогенных микроорганизмов в продуктах питания или в медицинских учреждениях, а с помощью «клеточных» детекторов исследовать терапевтический эффект различных противоопухолевых препаратов. ■

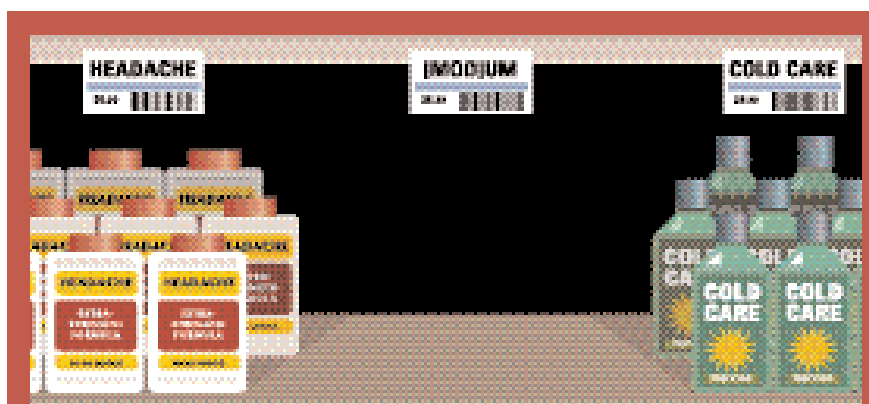
ОБ АВТОРЕ:

**Рокко Касагранде** (Rocco Casagrande), научный сотрудник биотехнологической компании *Surface Logix* в Брайтоне, штат Массачусетс, занимается разработкой и испытанием детекторов биологических агентов. В 2001 г. он получил докторскую степень в Массачусетском технологическом институте. Касагранде является консультантом агентства по раннему оповещению министерства обороны США и членом группы по контролю патогенных микроорганизмов при Мэрилендском университете, а также штатным инспектором Комиссии ООН по разоружению, которой поручено осуществлять контроль за уничтожением биологического и химического оружия в Ираке.

\* Когда-то шахтеры, опускаясь на глубину, брали с собой клетку с канарейкой. Если птица погибала, значит, концентрация вредных или взрывоопасных газов была слишком высокой и нужно было срочно подниматься на поверхность. (Прим. ред.)

# НЕУСЫПНЫЙ КОНТРОЛЬ

Стивен Морзе



Один из признаков эпидемии – повышение спроса на определенные лекарства. В 1993 г. работники здравоохранения обратили внимание на то, что из аптек исчез имодиум – препарат, применяющийся при диарее. А вскоре обнаружилось, что в результате попадания в питьевую воду патогенных простейших *Cryptosporidium* заболели 400 тыс. человек.

Когда прошлой осенью у Роберта Стивенса, одного из жителей Флориды, обнаружили сибирскую язву, врачи решили, что имеют дело с единичным случаем редкого заболевания. Однако вскоре заразился и сослуживец Стивенса – и это повергло страну в шок. В итоге умерли пять человек. Больше-го числа жертв удалось избежать лишь потому, что очень скоро специалисты поняли: те первые инциденты не были случайностью, кто-то намеренно распространил споры сибирской язвы.

Долгое время власти рассматривали проблему биотерроризма лишь с точки зрения повышения эффективности работы правоохранительных органов. Однако эпизод с сибирской язвой, а также компьютерное моделирование ситуаций с распространением вируса чумы в Денвере и оспы в Атланте, Филадельфии и Оклахома-Сити четко показали: биотер-

роризм – это проблема, напрямую связанная со здравоохранением. Сегодня первый признак биотеррористической атаки – больные, обратившиеся в пункты скорой помощи, а не сигнал тревоги, поданный высокотехнологичным биодетектором.

Любая система раннего оповещения должна иметь три важных компонента, один из которых – клиническое опознание. Для этого нужны врачи, способные распознать необычное заболевание и назначить анализы, уточняющие диагноз. У Роберта Стивенса врачи вначале диагностировали менингит, но всестороннее обследование показало, что причина заболевания – сибирская язва. Необходимо ввести в повседневную практику врачей «синдромный контроль»: умение быстро обнаруживать определенные признаки болезни. К их числу относятся симптомы, характерные для

гриппа, а также разного рода высыпания – именно они чаще всего обнаруживаются при инфекционных заболеваниях, вызванных патогенными микроорганизмами, которые могут использовать террористы.

Скорее всего анализы покажут, что подозрительные симптомы свидетельствуют об обычной инфекции, а «синдромный контроль» заболевания, похожего на грипп, как раз и выявит – не удивляйтесь! – именно грипп. Что важно и само по себе, поскольку пандемия этой болезни тоже сопряжена с риском. Но первые симптомы таких смертельно опасных инфекций, как легочная форма сибирской язвы или чума, распространяемых воздушно-капельным путем, – общее недомогание и повышенная температура.

Необходимо помнить и о других, менее явных признаках надвигающейся опасности: резкое увеличение количества проданных лекарств, числа студентов, пропустивших лекции, и людей, не вышедших на работу, появление в медицинских учреждениях больных с настораживающими симптомами.

В 1994 г. мы создали в Интернете сайт *ProMED*, положив начало созданию системы по электронному обмену информацией, с помощью которой все заинтересованные организации могли бы сообщать о клинических проявлениях тех или иных болезней. Электронные сообщения оцениваются с точки зрения научной достоверности, а затем рассылаются подписчикам, список которых насчитывает 25000 адресатов. В их число входят эксперты, которые дают оценки текущей эпидемиологической ситуации.

## Надежные системы раннего оповещения и подготовленные специалисты – лучшая защита от биотерроризма.

Впрочем, никакой формальной системы реагирования не существует, хотя Всемирная организация здравоохранения постоянно отслеживает информацию с сайта *ProMED* и из других источников, уведомляет своих представителей на местах и дает рекомендации по дальнейшим действиям. Для того чтобы вовремя обнаружить опасность и принять меры, нужно создать систему мониторинга, охватывающую весь земной шар, – что-то вроде всемирной сети метеорологических станций.

Даже единичный случай возникновения редкого заболевания, например легочной формы чумы или лихорадки Эбола, должен послужить сигналом к проведению эпидемиологических мероприятий – это второй компонент системы раннего оповещения. К сожалению, одних стараний и высокой квалификации сотрудников местных органов здравоохранения и специалистов из центров по контролю и предупреждению заболеваний (CDC) недостаточно. Сама национальная система здравоохранения США не отвечает современным требованиям: она по-прежнему остается пестрым лоскутным одеялом, и лоскуты эти сильно различаются по своему качеству.

И, наконец, последняя составляющая – лабораторные анализы. Лаборатории – ключевое звено в идентификации возбудителя заболевания. На первых этапах обследования анализы позволяют определить источник инфекции. Неоценимую помощь оказывают методы молекулярной диагностики, позволяющие различать разные штаммы одного микроорганизма, основыва-

ясь на различиях в их генетическом материале. С помощью этих способов можно определить, например, отвечал ли один и тот же штамм возбудителя сибирской язвы за все зарегистрированные в 2001 г. инциденты или штаммы были разными. Возможно, тогда удастся выяснить, действовал ли террорист в одиночку или у него были сообщники.

Создание совершенной системы контроля за распространением болезней и разработка ответных действий – необходимый, но лишь первый шаг. Нужны и другие меры. Органам здравоохранения все чаще приходится иметь дело с самыми непредвиденными ситуациями – от последствий ураганов до тепловых волн. А если учесть, что существует угроза применения не только биологического, но также химического и радиационного оружия, то становится ясно, что роль системы здравоохранения будет только возрастать.

В 1999 г. CDC приступил к созданию сети лабораторий, специально предназначенных для быстрого реагирования. В нее войдут микробиологические лаборатории при клиниках, находящихся в разных частях страны, которые занимаются обычной диагностикой и могут культивировать и идентифицировать некоторые патогенные микроорганизмы. Будут и более специализированные: туда будут пересылаться все материалы, вызывающие подозрение. Верхней ступенькой в этой лестнице станут хорошо оснащенные центры в самом CDC и в Медицинском исследовательском институте инфекционных заболеваний министерства обороны США.

Сразу после терактов 11 сентября 2001 г. и инцидентов с распростране-

нием спор сибирской язвы правительство США решило повысить готовность к подобным ситуациям. В январе 2002 г. из федерального бюджета было дополнительно выделено \$2,9 млрд. для проведения мероприятий по подготовке всех служб к возможным биотеррористическим атакам.

Кроме того, CDC получит еще \$116 млн., большая часть которых пойдет на модернизацию лабораторий. Где больше всего заболевших людей? Какие и где нужны медикаменты? Какими средствами лучше провести дезинфекцию и какие регионы нужно обработать в первую очередь? Какие данные о возбудителе нужно собрать, чтобы выйти на след преступников, совершивших теракт? Нужны ли карантинные меры и какие именно? Вся эта информация должна адресно направляться органам здравоохранения на местах, на уровне штатов и на федеральном уровне, а также в медицинские учреждения и правоохранительные органы.

Инфраструктура здравоохранения – это не просто важное звено в цепи мер по противодействию биотерроризму, это ключевое звено. Вспышки инфекционных заболеваний происходят не так уж редко, а процессы глобализации способствуют тому, что их частота и масштабы возрастают. Некоторые из них, например пандемии новых форм гриппа, распространяются с угрожающей скоростью. Инвестиции в обеспечение биологической безопасности окупятся сторицей. Будь то эпидемии, возникшие естественным путем, или инфекции, связанные с террористическим актом, цена одна – спасенные человеческие жизни. ■




# ЖГУЧИЕ

## ВОПРОСЫ

---

Ученые делают все возможное, чтобы сдержать нашествие лесных пожаров на американском Западе и понять их причины.

Дуглас Гантенбейн



К концу июля 2002 г., казалось, поыхал весь американский Запад. К этому времени уже сгорело более 1,5 млн. га леса – в два раза больше, чем выгорает в год за последнее десятилетие. Национальный межведомственный центр по борьбе с пожарами в г. Бойсе (штат Айдахо) находился в состоянии повышенной боевой готовности больше месяца. Службы лесоводства и лесоохраны заявили, что уже исчерпали свой бюджет в \$1 млрд. А если учесть, что на борьбу с огнем были затрачены огромные средства и других земельных ведомств, то 2002 г. можно считать самым дорогим «противопожарным» годом в истории США.

---

### Факторы пожаров

Пожары стали неотъемлемой частью жизни американского Запада. Каждый год с мая по сентябрь клубы дыма вздымаются над горизонтом от Нью-Мексико и Аризоны до Вашингтона, Айдахо и Монтаны. В 2002 г. в штате Колорадо опустошительный пожар Хеймен спалил более 40 тыс. га леса, на его тушение ушло \$40 млн. В Аризоне пожары Родео и Чедиски уничтожили более 120 тыс. га. А в Орегоне было выжжено 200 тыс. га земли, что по площади больше всех пяти районов Нью-Йорка. Там на тушение огня было израсходовано \$113 млн. – самая крупная сумма, когда-либо потраченная на борьбу с лесным пожаром.

Причины возникновения столь ужасающих «пожарных сезонов» разнообразны: деятельность лесничеств,

пытающихся самостоятельно бороться с огнем, но вместо этого лишь усугубляющих ситуацию, сильные засухи и поджоги. С начала 1960-х гг. пожары стали все интенсивнее и крупнее. Так, в 1961-м пожар Спящий младенец в штате Монтана уничтожил около 10 тыс. га леса, поразив всех своей свирепостью. Сегодня о нем никто бы не стал и говорить.

Сильные пожары, полыхавшие в 2000 г., когда в общей сложности сгорело более 3,5 млн. га леса, заставили федеральное правительство перейти к более решительным действиям. Администрация Клинтона ежегодно выделяла из казны \$1,8 млрд на реализацию Национального противопожарного плана. На дополнительные средства не только приобреталось новое оборудование и нанимались спе-

циалисты, но и выделялись значительные суммы на научные исследования в области борьбы с огнем.

«До сих пор пожары привлекали внимание скорее как сенсация, – говорит Кевин Райан (Kevin C. Ryan) из Лаборатории по изучению пожаров Службы лесоводства и лесоохраны в г. Миссула (штат Монтана), намекая на обыкновение телерепортеров и журналистов сломя голову мчаться на место происшествия. – Теперь же возникла необходимость разобраться в их истинных причинах». Сегодня ученые пытаются понять, как разгораются крупные пожары, как они влияют на жизнь леса, и даже пытаются заранее прогнозировать возможный ущерб.

Особенно исследователей волнует вопрос, как разрастаются пожары. В 2002 г. в Орегоне, Колорадо, Аризоне





и других штатах полыхали верховые пожары – самые опустошительные из всех возможных. Борьба с ними бесполезна – пламя буквально перепрыгивает с верхушки одного дерева на верхушку другого. Эти пожары не только с легкостью преодолевают полутораметровые противопожарные просеки, прокладываемые в лесу с помощью *Pulaskis* (агрегата, состоящего из топора и кирки, без малого уже 70 лет остающегося главным орудием пожарных), но иногда даже перескакивают через реки шириной в десятки и сотни метров.

Прежде такие пожары были большой редкостью. В 1910–1920-х гг. пожарники часто подходили вплотную к огню и попросту сбивали его одеялами. Сегодня же пламя обычно вздымается ввысь на 130 м: за час оно пожирает примерно 35 тонн древесины на 0,4 га леса, а его температура достигает 1100°C. Такие пожары порождают ветры, скорость которых достигает 160 км/ч. Что еще хуже, они могут полностью уничтожить леса из желтой сосны – преобладающей древесной породы в западной части США, выдерживающей лишь мелкие возгорания. В светлых, поистине волшебных лесах царит легкая полутьма и живут десятки видов птиц, млекопитающих и насекомых. «После верхового пожара такой лес уже не может возродиться, – говорит Райан. – Место желтой сосны займет совсем иная растительность – в основном экзотические сорняки и деревья, способные расти там, где часто возникает огонь».

Изучение сильных лесных пожаров – весьма рискованное занятие. «Находиться рядом с огнем очень опасно, – говорит Дон Лэтэм (Don J. Latham), специалист по борьбе с лесными пожарами. – Поэтому приходится собирать данные либо на значительном расстоянии, либо с самолетов или спутников». А эти методы, по словам ученого, довольно грубые – они достаточно точно определяют локализацию огня, но почти не дают информации о том, что происходит внутри него. Эти сведения исследователи получают иными способами.



В начале 1960-х гг. сотрудники лаборатории в Миссоуле изучали поведение лесных пожаров с помощью камеры сгорания. Эта конструкция высотой 30 м состоит из вместительного центрального отсека и двух сравнительно небольших аэродинамических труб. В 1960–1970-х гг. Ричард Ротермел (Richard Rothermel) разработал несколько компьютерных моделей, позволяющих объяснить, как распространяется пламя при изменении ветра и рельефа местности. Эта работа приобрела широкую известность благодаря опубликованной в 1992 г. книге Нормана Маклина (Norman Maclean)

Здесь пахло дымом. Спустя десятилетия после тушения пожара лес зарос кустарником и хильми, торчащими вкривь и вкось деревьями (слева). Там, где огонь догорал без вмешательства людей, вырос лес из величавых желтых сосен (вверху).

ИСТОРИЯ ДВУХ ПОЖАРОВ

Поднимающееся от пожара тепло способно инициировать образование кучевых облаков и другие атмосферные явления. Кучевые облака могут стать причиной молний, которые, в свою очередь, вызовут новые пожары.

**Лес, где люди не тушили пожары.** В лесу, где вызванные молниями пожары догорали без вмешательства человека, высокие деревья стоят друг от друга настолько далеко, а растительного горючего материала настолько мало, что опасные верховые пожары здесь не возникают.



Поднимающееся тепло

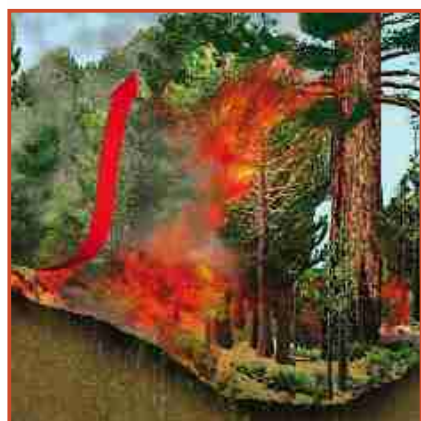
Направление ветра

Верховой пожар

Противопожарная просека

Низовой пожар

Ветер разносит горящие угольки, вызывающие новые локальные пожары. Огонь при верховом пожаре способен перепрыгивать через противопожарные просеки и даже реки.



**Лес, где люди тушили пожары.**

Если небольшие рутинные пожары не уничтожают кустарники и тонкие деревца, нижний ярус леса превращается в настоящую «лесенку» из горючих материалов, по которой огню очень легко добраться до высокого лесного полога. Возникающий в результате верховой пожар расшвыривает горящие угли на расстояние до 130 м. Воздействие огромных (порядка 1100°C) температур стерилизует почву, что сильно замедляет возобновление леса.

«Молодые люди и пожар» (Young Men & Fire), посвященной анализу трагедии близ г. Мэнн-Галч, когда в результате пожара погибли 13 пожарников. По мнению Ротермела, занимавшегося в свое время ядерными ракетными двигателями, эти ребята просто не смогли убежать от огня, распространявшегося вверх по склону холма со скоростью 11 км/ч, – быстрее, чем уставший человек способен подняться по крутому склону.

Но возможности всех этих устройств ограничены. В камерах сгорания, где сжигаются испытываемые образцы (например, хвоя сосны или тонкая древесная стружка), создаются слишком маленькие «пожары», неспособные имитировать внутреннюю динамику лесного пламени. Современные компьютерные модели позволяют исследователям изменять ветровые режимы, без учета конвекции, обусловленной пожаром. Иными словами, эти модели неспособны принимать в расчет бешеные ветры, порождаемые самими пожарами. Для улучшения модели нужны более точные данные, а лесной пожар – не слишком послушный испытуемый.

### Огнеметный тест

В 1997 г. Лэтэм и его коллеги получили возможность разжечь «собственный» верховой пожар на Северо-Западе Канады. Для этого эксперимента исследователи подготовили девять участков площадью по 2 га из черной ели и сосны Банка – деревьев, не сильно отличающихся от широкохвойной сосны. Ученые тщательно измерили и определили точный вес всех горючих материалов. Они установили на участках тепловые датчики, высокоскоростные кинокамеры, видеокамеры, тепловизоры и пробоотборники дыма.

А потом началось представление. Исследователи объезжали каждый участок на пикапе с установленным сзади огнеметом. В результаты опыта трудно было поверить! Один участок был испепелен пламенем за считанные минуты. Судя по видеокадрам, снятым «внутри» пожаров, в середине

## «ЕСТЕСТВЕННОЕ» РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Для предупреждения возникающих в последнее время катастрофических лесных пожаров некоторые специалисты советуют вернуть лесам их прежний вид. Для этого Уильям Ковингтон (William Wallace Covington) из Университета Северной Аризоны считает необходимым проредить западные леса. Он предлагает уменьшить площадь лесопосадок с 200 и более до 30–40 деревьев на 0,4 га, т.е. приблизиться к 1880 г. В этом случае в леса снова можно будет «пустить» профилактические или даже естественные пожары, не опасаясь их перерастания в верховые. «Если этого не сделать, – говорит Ковингтон, – то к 2010–2015 гг. леса из желтой сосны исчезнут навсегда и люди вскоре забудут, как они выглядели». Однако многие защитники окружающей среды с ним не согласны. Они с большим подозрением относятся к деятельности, характеризуемой ими как «нелегальная вырубка леса под предлогом его восстановления», и считают, что рекомендации Ковингтона чрезмерно агрессивны и могут нанести огромный ущерб и без того уязвимым лесам. Говорят они и о стоимости проекта: для расчистки 0,4 га леса необходимо \$700, а этого требует площадь в 40 млн. га.

образовалось настоящее пекло. Потом по экрану начали прыгать «светящиеся кузнечики» – от пылающих деревьев во все стороны полетели горящие и тлеющие угольки. Они, в свою очередь, порождали новые маленькие пожары, дым от которых поначалу валил в одну сторону, а затем, по мере приближения фронта огня, изменял направление на противоположное. На одном из участков ученые поместили на пути следования пламени защитную форму пожарников и серебристые противопожарные заслонки. Все эти приспособления просто испарились.

Лэтэм и его коллеги до сих пор продолжают переваривать данные и факты, полученные во время проведенных испытаний. Ведь эти сведения помогут специалистам точнее судить об условиях, возникающих в центре пожара, и оценивать возможности его дальнейшего разрастания. Они позволяют и усо-

вершенствовать существующие компьютерные модели пожаров. К их числу принадлежит и *Farsite* – программа, учитывающая рельеф участка, типы горючих материалов, погодные условия и позволяющая предсказывать возможный характер распространения огня в сельской местности. Полученные данные также помогут Лэтэму и другим исследователям разработать модели, дающие более точные прогнозы того, как незначительные изменения пожара смогут повлиять на его общее поведение. А эти выводы, в свою очередь, пригодятся пожарным при планировании тактики его тушения.

Испытания в Канаде помогут уменьшить и риск, связанный с тушением пожаров. Брет Баттлер (Bret Buttler), инженер-механик из Лаборатории по изучению пожаров, использует эти данные для разработки требований к зоне безопасности, куда обычно ▶

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

Forest Fires: Behavior and Ecological Effects. Под редакцией Edward A. Johnson and Kiyoko Miyayoshi. Academic Press. January 2001.

Jumping Fire: A Smokejumpers Memoir of Fighting Wildfire. Murray A. Taylor. Harvest Books, 2001.

Year of the Fires: The Story of the Great Fires of 1910. Stephen J. Pyne. Viking Press, 2001.

Flames in Our Forest: Disaster or Renewal? Stephen F. Arno and Steven Allison-Bunnell. Island Press, 2002.

### ОБЗОР: ПОСЛЕ ПОЖАРА

- Лето 1910 г., когда, кажется, поыхал весь американский Запад, стало главным в истории борьбы с пожарами США. С тех пор лесоохранные службы стали придерживаться тактики тушения всех возникающих пожаров. Сегодня правильность такого подхода подвергается сомнению.
- Нельзя оставлять пожары без всякого контроля. Опасность страшного пожара, усугубляемая сильными засухами последних лет, нависла над огромными массивами леса, где скопилась масса природных горючих материалов. Крупные лесные пожары представляют угрозу и для постоянно растущего числа людей, перебирающихся жить поближе к природе.
- Благодаря поддержке федеральных властей ученые разрабатывают новые подходы, позволяющие лучше понять поведение лесных пожаров и смягчить их разрушительные последствия.

отступают пожарные, когда пламя угрожает их жизни. Сегодня параметры этой зоны определяются чисто субъективно – отыскивается обширный участок, где камни, вода или уже выжженная земля могут воспрепятствовать распространению огня. Баттлер обнаружил, что даже незначительная разница в дистанции между огнем

и человеком может сильно повлиять на возможность выжить. Пожарный, находящийся от фронта верхового пожара в 360 м, может остаться в живых, но если промежуток сократится всего на 30 м, он может погибнуть. «Эта зависимость имеет отнюдь не линейный характер, – говорит Баттлер. – Ничтожная разница в расстоянии – и лу-

чистый теплообмен может измениться в 4–5 раз».

В последнее время электронные технологии помогают ученым раскрывать тайны лесных пожаров. Пасмурным майским днем 2002 г. сотрудник Лаборатории по изучению пожаров Колин Харди (Colin C. Hardy) и профессор Университета лесоводства штата Монтана Ллойд Куин (Lloyd P. Queen) работали под открытым небом, колдуя над чем-то, напоминавшим одну из плоских широких решеток, часто встречающихся в ресторанах корейской кухни. Рядом была большая лужа воды. Оба устройства (и нагретая до температуры 210°C решетка, и охлажденная до 20°C лужа) были оснащены индикаторами для регистрации их точной температуры. В небе кружил оснащенный инфракрасными датчиками самолет, что позволяло сравнивать температуру воздуха с температурой лужи и решетки.

Куин и Харди собирались использовать «воздушные» инфракрасные сен-



соры в течение всего лета, чтобы получить точные изображения пожаров и сопоставить их с данными о состоянии леса в месте возгорания и массе горючих материалов. Харди надеялся, что сведения, полученные с самолета, помогут определить силу пламени, при которой гибнут деревья или просто сгорает хвоя. Лесоводам, располагающим такой информацией, было бы проще решать – спасать ли немедленно деревья или же дать им возможность восстановиться после огня самостоятельно.

### Предсказание пожаров

Дистанционное зондирование – использование инфракрасных сканеров или приборов типа лидара (лазерного локатора инфракрасного диапазона) для оценки интенсивности пожаров на расстоянии – самостоятельная, быстро развивающаяся область исследований. Подход сам по себе не нов. Уже несколько лет инфракрасное изображение помогает специалистам определять локализацию и размеры крупных пожаров сквозь непроницаемую завесу дыма. Оценке этих факторов способствуют и сведения, получаемые со спутников. «Но эти методы, – замечает Куин, – позволяют нам получать главным образом картинку, а не подлинные данные. Информация вроде: «Вон там горит!» – нас уже не устраивает. Мы хотим знать тепловые характеристики пожара, а следовательно, научиться предсказывать его возможные последствия».

Знать заранее, что именно сгорит в результате пожара, – еще одна важная задача. Сегодня над Лабораторией по изучению пожаров возвышается белый купол, установленный в начале 2002 г. Размещенная внутри параболическая антенна принимает сигналы со спутника *Terra*, запущенного NASA в декабре 1999 г.

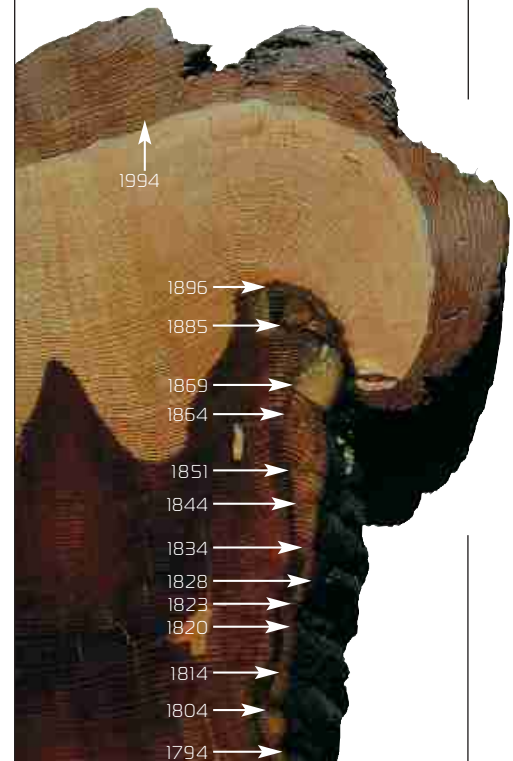
Каждый день *Terra* трижды пролетает над Северной Америкой. Всякий раз ее блок *MODIS* (спектрорадиометр с формированием изображения умеренного разрешения) скани-

рует поверхность планеты, определяя интенсивность снегопадов, таяния снега, облачность и даже весенний рост травы. Обладающий сравнительно невысокой (10 м) разрешающей способностью, *MODIS* выявляет пожары и посылает информацию на комплекс серверов, находящихся в одной из комнат Лаборатории по изучению пожаров.

Сведения, полученные с помощью *MODIS*, позволяют ученым сопоставить данные о пожаре с информацией о существовании горючих материалов вокруг очага возгорания, рельефе местности, по которой он распространяется, и характере погоды. На основании этой информации специалисты уже через несколько часов после начала пожара могут сообщить местным властям, как будет вести себя огонь, какой ущерб он причинит и в каком месте наиболее целесообразно попытаться его остановить.

Но способны ли сами люди изменить ситуацию с пожарами? Огню, конечно, нельзя предоставлять полную свободу действий: он наносит колоссальный ущерб окружающей среде и угрожает не только огромной экосистеме желтой сосны, но и таким редким животным, как мексиканская пятнистая неясыть и снежный баран. В конце концов, он приводит к гибели людей и уничтожает их имущество. Но никакие деньги и толпы пожарников не в состоянии остановить распространение крупного пожара. Один из возможных способов исправить положение – вернуть леса в прежнее состояние, т.е. сделать их такими, какими они были до того, как европейские переселенцы привезли в Америку овец, а лесоохранные службы наводнили их пожарными бригадами.

Так или иначе, лесные пожары будут бушевать на американском Западе еще долгие годы, причем глобальное изменение климата может повлиять на них самым непредсказуемым образом. Ученые, впрочем, делают все возможное, чтобы понять, какими еще бедами грозят нам пожары и как смягчить их последствия. ■



Желтая сосна – преобладающая древесная порода на американском Западе – выдерживает мелкие и умеренные лесные пожары благодаря коре толщиной 5 см (слева).

Судя по годичным кольцам на пне (вверху), такие пожары возникали в прошлом примерно раз в десятилетие.

ОБ АВТОРЕ:

**Дуглас Гантенбейн** (Douglas Gantenbein) – корреспондент *Economist* в Сиэтле, сотрудничающий с *Air & Space Smithsonian*, *Travel and Leisure*, *This Old House* и другими американскими журналами. В настоящее время он пишет книгу о лесных пожарах на американском Западе.

# ЛЕСНЫЕ ПОЖАРЫ В РОССИИ

Татьяна Потапова

Лесные пожары в России были всегда. Большинство наших сограждан и не подозревает, как часто они возникают и благодаря каким усилиям сотен тысяч специалистов, занятых прогнозированием, обнаружением и ликвидацией огня, мы можем жить в счастливом неведении об этом грозном явлении.

Лесной фонд России составляет около 1,2 млрд. га (22% лесов мира) и уже более 200 лет является объектом хозяйственной деятельности, организованной на научной основе. До Октябрьской революции даже в относительно благополучные дождливые годы в нашей стране выгорало 600–700 тыс. га лесов, а в засушливом 1915 г. было уничтожено 12,5 млн. га. С 1931 г. для борьбы с огнем стала

возникают по вине человека, а в удаленных северных районах в 50% случаев виноваты грозы. Ежегодно у нас около 5% лесных пожаров перерастают в угрожающе крупные, которые охватывают до 92% всех площадей, пройденных огнем. Особую опасность представляет соединение лесных пожаров с торфяными (в полной мере это ощутили на себе в конце лета 2002 г. жители Москвы и Московской области), а также выброс в атмосферу продуктов сгорания с радиационно зараженных территорий и зон скопления особо ядовитых химических веществ.

Все отечественные специалисты сетуют на недостаток финансирования. Интересно сопоставить некоторые цифры. Из бюджета США на реализа-

одному или вдвоем. Плохо, если упущено время.

Российские ученые, как и их американские коллеги, делают все возможное, чтобы сдерживать натиск лесных пожаров и смягчить их последствия. Более того, они делают своим союзником даже сам огонь. В 2000 г. был отмечен 70-летний юбилей доктора сельскохозяйственных наук Э.Н. Валендика, зав. лабораторией лесной пирологии Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, автора книг «Ветер и лесной пожар» (1968), «Борьба с крупными лесными пожарами» (1990), «Управляемый огонь на вырубках и в темнохвойных лесах» (2000). Ученый считает, что управляемый огонь в руках опытных специалистов

Пожар оценивается не только как разрушитель, но и как постоянно действующий природный фактор, обеспечивающий естественный ход процессов в лесных экосистемах.

привлекаться авиация, а с 1972 г. – комические методы.

В последнее время в России ежегодно возникает около 30 000 лесных пожаров и сгорает по 1–2 млн. га лесов (0,2% лесного фонда). В среднем этот показатель лучше, чем во всем мире, где ежегодно 400 000 пожаров уничтожают 0,5% лесов. Мы могли бы гордиться отечественной системой лесоохраны. Однако многие специалисты считают, что количественные оценки далеки от истины. Например, Г.Н. Коровин и А.С. Исаев («Лесной бюллетень», №8–9, 1998) оценивали площадь ежегодных лесных пожаров в 5–6 млн. га. В заселенных равнинных районах России до 98% возгораний

Национального противопожарного плана ежегодно выделялось \$1,8 млрд., тем не менее в 2000 г. там сгорело 3,5 млн. га леса. В российском бюджете 2001 г. было выделено для борьбы с огнем 984,4 млн. рублей и сгорело 0,87 млн. га. Автор опубликованной в этом номере журнала статьи «Жгучие вопросы» (стр. 68) решительно утверждает: «Никакие деньги и толпы пожарников не в состоянии остановить распространение крупного пожара...» С ним трудно не согласиться. А не крупного?

Потушить лесной пожар в самом его начале легко. Огонь можно затоптать ногами, захлестать ветками, залить водой. Справиться с ним можно

может стать самым эффективным и дешевым методом сохранения, восстановления и формирования структуры сибирских лесов. В этих разработках пожар оценивается не только как разрушитель, но и как постоянно действующий природный фактор, обеспечивающий естественный ход процессов в лесных экосистемах. На 7-й Российской конференции молодых ученых в Пущине (2001 г.) А.В. Богородская из Института леса СО РАН представила работу по изучению влияния управляемого лесного пожара с заданной интенсивностью огня на микробные сообщества лесных почв.

Кроме уже названного Института леса СО РАН (Красноярск) научные ис-

следования широкого круга проблем, связанных с происхождением, обнаружением и ликвидацией лесных пожаров, ведутся в Институте космических исследований РАН (Москва), Центре проблем экологии и продуктивности лесов РАН (Москва), Международном институте леса РАЕН (Москва), Институте солнечно-земной физики СО РАН (Иркутск), Институте оптики атмосферы СО РАН (Томск) и других организациях и учреждениях России. С 1997 г. работы по мониторингу и оценке последствий лесных пожаров с помощью космических средств успешно развиваются в системе МЧС России, в структуре Всероссийского НИИ по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций (ВНИИ ГОЧС, Москва) и его подразделений в Красноярске и Владивостоке. Все эти организации связаны в единую информационную сеть, в том числе с использованием оптоволоконных каналов.

Отечественные ученые большое внимание уделяют разработке общей математической модели лесных пожаров с учетом таких существенных факторов, как влияние излучения Солнца, типа почвы и типа растительности на высыхание слоя лесных горючих материалов. Модель позволяет с помощью оценки динамики поля плотности излучения над очагом лесного пожара усовершенствовать методы его обнаружения и диагностики аэрокосмическими методами. Учитывая тот факт, что характерное расстояние между деревьями во много раз меньше, чем размеры типичного лесного массива, для математического описания лесных пожаров успешно используются методы механики сплошных сред. Главный результат моделирования – определение предельных условий, при которых процесс горения прекращается, что крайне важно для принятия решений в борьбе с огнем, а также для разработки новых способов и устройств.

Успешно ведутся научные разработки в области дешифровки изображений земной поверхности, полученных в разных спектральных диапазонах различными устройствами дистанци-

онного зондирования, и оценки на основе таких данных состояния конкретных участков леса.

Большая и полноценная работа проводится в части создания программного обеспечения, позволяющего прогнозировать расположение на местности движущегося периметра пожара, высоту пламени и пройденную огнем площадь в зависимости от конкретных условий (скорость и направление ветра, класс пожарной опасности по условиям погоды).

Применение космических методов для нужд лесного хозяйства нашей страны началось еще в 1972 г. За период с 1978 по 2000 гг. с помощью этих методов был изучен лесной фонд России на площади более 350 млн. га. У истоков этой работы стоял тогда В.И. Сухих, который в одном из интервью сказал: «Сверху видно все, не только разгул огня. К сожалению, уже в 90-е гг. работы по внедрению в практику методов и технологий изучения и оценки состояния лесов на основе космической информации были, за малым исключением, практически свернуты. Также, как и дальнейшие научные исследования в этом направлении. Лежит невостребованным, а с уходом пионеров в этой области может быть и утрачен большой научный задел».

По словам директора Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН А. Исаева, «площадь гари на территории лесного фонда России в 5 раз превышает площадь вырубки лесов», а «размеры ежегодного ущерба от лесных пожаров соизмеримы с величиной доходов от лесного хозяйства, а в отдельные годы значительно превышают его». Что делать? В целях усиления охраны лесов от пожаров, повышения уровня противопожарной защиты лесного фонда Российской Федерации Правительство РФ постановлением от 10 января 1999 г. №35 утвердило федеральную целевую программу «Охрана лесов от пожаров на 1999–2005 годы». Программа принята. Но каков результат?

Мы вправе гордиться отечественной системой авиалесоохраны и космомониторинга, достижениями ученых.



Тревожат тенденции невостребованности этих замечательных достижений теми, кто принимает управленческие решения в конкретных ситуациях. Лесной пожар – не шутка. В этом убедились летом 2002 г. жители Москвы, а в начале 2003 г. жители Канберры. Правительство США сейчас выделяет большие средства на изучение тех проблем, с которыми уже имели дело наши отечественные специалисты. По-видимому, логика событий должна вести к более тесному сотрудничеству в этой области специалистов разных стран. Может быть, если очень повезет, наши исполнительные власти обратят внимание на необходимость принятия научно обоснованных решений в вопросах сбережения лесных ресурсов страны и защите населения от пожаров и их последствий. ■

ОБ АВТОРЕ:

**Татьяна Васильевна Потапова** – ведущий научный сотрудник НИИ физ.-хим. биологии им. А.Н. Белозерского (МГУ), доктор биологических наук.

# ОХОТА НА БАБОЧЕК

Охота на чешуекрылых в горах Грейт-Смоки.

Вайт Гиббс



В исследовании участвовали одни из самых именитых американских специалистов по бабочкам. Их помощникам пришлось рассортировать несколько тысяч бабочек.

С трудом пробираюсь через высокую луговую траву, пот ручьями стекает по спине, и я начинаю сожалеть, что согласился помогать Дэвиду Вагнеру (David L. Wagner) охотиться за ночными бабочками.

И вдруг я замечаю в струйке света порхание маленького крылатого существа. Замахнувшись, сжимаю ладонь в кулак и чувствую, что в подтверждение моей удачи кто-то щекочет мою ладонь – моя первая добыча. Подобно спаниелю, несусь рысью к Вагнеру. Он наклоняется, чтобы посмотреть на парализованного от страха мотылька.

Дэвид Вагнер, энтомолог из Коннектикутского университета, «начальник мотыльков», как он сам себя шуточно называет, осторожно направляет прозрачные желтые кры-

лышки насекомого. «Ах, ведь это любитель фиалок – *Eubaphe mendica!*» – восклицает он.

И началась охота. 30 ученых и более 20 добровольцев, в том числе и мы с Вагнером, намерены поймать в парке и классифицировать как можно больше видов ночных и дневных бабочек.

Отлов чешуекрылых, т.е. бабочек – часть программы, цель которой – собрать полную научную базу данных обо всех видах насекомых, встречающихся в самом большом парке на востоке США. Некоммерческая организация Неизвестные формы жизни в Америке координирует программу «Все таксономическое разнообразие жизни» (*All Taxa Biodiversity Inventory – ATBI*). Потребует более 10 лет, чтобы завер-

шить самый амбициозный из когда-либо проводившихся исследовательских проектов. За два года ученые и их добровольные помощники описали 2 163 вида насекомых, впервые обнаруженных в горах Грейт-Смоки. Из них 292 вида оказались ранее неизвестными науке!

Утром Вагнер вручил новичкам палки и куски холста для сбора гусениц. «Найдите дерево или куст и полчаса трясите ветки», – наставляет Вагнер. «Смородина, лещина, ильм: для поисков подходит все. И особенно дуб – на нем живет кто угодно, – добавляет ученый. – Летом здешний дуб может прокормить около 400 видов гусениц».

Фотограф Кевин Фицпатрик (Kevin FitzPatrick), художник Нэнси Лоу (Nancy Lowe) и я следовали за Вагнером к луку, раскинувшемуся среди скал Кейдс-Коув. Шурясь от солнца, мы пытались обнаружить одних из самых примитивных и крошечных бабочек – молей-мелкокрылов. К нам присоединился биолог Брайан Шолтенс (Brian G. Scholtens) из Колледжа Чарлстон. На нем красовалась футболка с надписью «*Lepidoptera 2001*». «Мы уже обнаружили два новых вида бабочек, – говорит биолог. – Я поймал диану – идеальный экземпляр!» *Speyeria diana* – красивый, редкий вид дневных бабочек, над которым нависла угроза исчезновения. У самок этих бабочек пятна на темно-синих или черных крыльях напоминают звезды на темном ночном небе.

С наступлением темноты я подъезжаю к центру, где работают добровольные помощники ученых. Бледное зарево окутало лесную опушку.



Аспирант Вагнера стоит у висящего матерчатого экрана, за которым горит яркая ртутная лампа. Сотни мотыльков и жуков цепляются за белую ткань, отчего она кажется серой. Я восхищаюсь павлиноглазкой лунной величиной с ладонь. Аспирант переворачивает бабочку и обнаруживает, что ее брюшко раздулось от

Нельсон не спал до четырех утра, обходя ловушки. Вагнер бодрствовал всю ночь, охотясь с фонариком на мотыльков.

«Столько ночных бабочек никто из нас прежде не видел», – возбужденно говорит Вагнер. Мотылек, чудом вырвавшийся из газовой камеры, порхает несколько минут, пока кто-то не выпускает его на волю.

## Натуралисты обнаруживают редкие формы жизни в самых неожиданных местах.

яиц. «Если бы не наша лампа, она наверняка откладывала бы сейчас яйца», – сокрушается он.

Вечером участники расставили на лугу и развесили на деревьях 40 световых ловушек. Большинство приборов устроены очень просто, но эффективно: ультрафиолетовый фонарь и воронка над емкостью с парами цианида. «В такие ловушки за ночь попадает несколько сотен мотыльков, – рассказывает Нельсон. – Утром нам придется сортировать десятки тысяч экземпляров».

В парке встречается пять видов лесов. Опись обитающих здесь насекомых позволит выяснить, как изменился климат на территории, простирающейся с востока США на север до Флориды.

Комната, где происходит сортировка насекомых, наполнена гулом голосов. Исследователи разместились за длинными столами. Одни рассматривают под микроскопами невзрачных мелкокрылов; другие, зажав в пинцетах ярких, разноцветных бабочек, спорят, к какому виду они принадлежат. Поймано несколько тысяч насекомых. Вытряхнув их из ловушек, энтомологи тщательно отсортировывают чешуекрылых от остальных «букашек». Хорошо сохранившиеся и идентифицированные экземпляры прикалывают к матрасикам с этикетками, указывающими дату и место, где они были пойманы. Информация вводится в компьютерную базу данных.

После обеда «главные специалисты», каждый из которых отвечает за то или иное семейство чешуекрылых, оглашают результаты своих исследований. Вагнер записывает цифры на листе, прикрепленном к доске. «Настоящие моли – 13 видов, из которых по крайней мере 5 не известны науке и 10 ранее не встречались в США. Совки – 232 вида, в том числе 9 новых для парка». И общий итог – 793 вида.

А через несколько недель выясняется, что окончательный итог 24-часовой охоты составил: 860 видов ночных и дневных бабочек, в том числе 133 новых вида, пойманных в парке, и 51 – ранее неизвестных науке.

Государственные чиновники уже обсуждают возможность использования опыта программы *ATVI*. ■

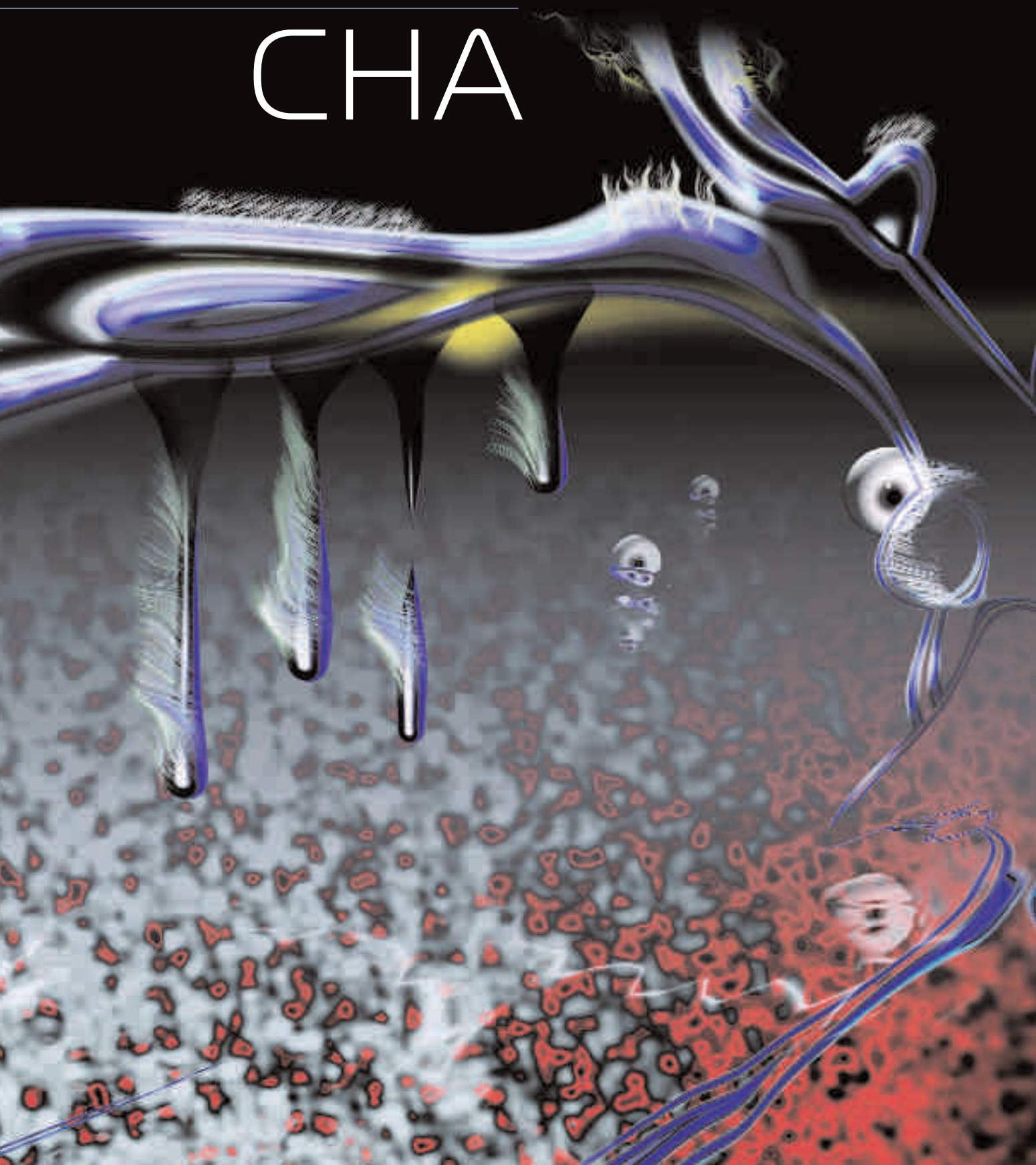


Павлиноглазка луна, древоотеч и каллозамия.



НА КРЫЛЬЯХ

СНА



Сон и сновидения – эти темы на протяжении веков будили фантазию прозаиков, поэтов, художников и увлекали философов, психологов, биологов, нейрофизиологов, психиатров, невропатологов и сомнологов.

Что такое сон? Зачем он нужен? Каковы его механизмы? Почему человек, доживший до 90 лет, 30 из них посвящает сну? Могут ли люди не спать? Об этом и многом другом узнали зрители программы «Очевидное-невероятное» из беседы Сергея Петровича Капицы с профессором, доктором медицинских наук, директором Сомнологического центра Минздрава России Яковом Иосифовичем Левиным. Но что-то осталось за кадром.

### Объятия Морфея

Сон можно сравнить с осенней паутинкой. Как неосторожное дуновение ветерка или капли дождя разрывают тончайшее хитросплетение нитей, так и вспышка света, назойливый шорох, резкий звук, неудобное ложе или сквозняк, словом, любые внешние раздражители разрушают это хрупкое состояние, структуру которого и так нарушают болезни, волнение, тревога, переживания, т.е. все те удары судьбы, которым подвергает нас жизнь.

Во всех определениях подчеркивается, что сон генетически обусловленное состояние, т.е. врожденная необходимость и способность, которой наделены все теплокровные, в том числе и человек. Иногда нам кажется, что не стоит тратить треть жизни зря. Отождествление сна с бездельем, потерей времени – одно из глубочайших заблуждений. Во сне человек расслаблен только внешне, на самом деле отдыхают только мышцы, а мозг находится в достаточно активном состоянии, хотя эта активность иного рода, нежели в бодрствовании. Чтобы сон отвечал своим функциям, мозг

### Гипнограмма сна здорового человека среднего возраста

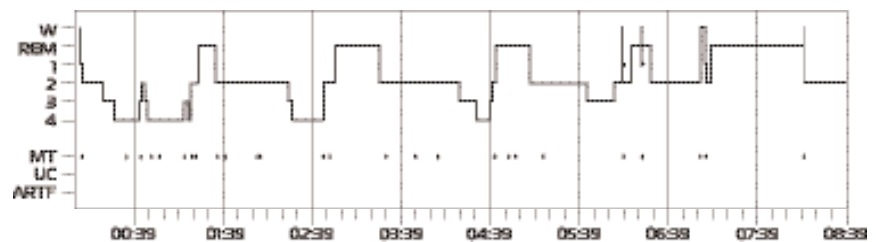


Рис. 1. **W** – бодрствование; **REM** – фаза быстрого сна; **1, 2, 3, 4** – стадии фазы медленного сна; **MT** – время движения; **UC** – неклассифицируемые эпохи; **ARTF** – артефакты. По оси абсцисс – время регистрации сна.

должен работать как хороший слаженный оркестр.

В современной науке появились методы, позволяющие объективно изучать сон. На пациента накладывают электроды и производят одновременную запись большого количества параметров. Определяющими для оценки структуры сна являются мозговые волны (ЭЭГ), движения глаз (ЭОГ) и мышечный тонус (ЭМГ). Кроме того, в зависимости от цели исследования регистрируют характер и частоту дыхания, сердечную деятельность и другие показатели. Ведется и визуальное наблюдение при помощи видеокамеры. Все результаты фиксируются и обрабатываются на компьютере, и на их основе строится гипнограмма, отражающая результаты анализа сна (см. рис.1)

Как только человек ложится и закрывает глаза, колебания мозговых волн становятся регулярными, с периодичностью примерно 10 раз в секунду. Это и есть альфа-ритм, свидетельствующий о расслабленном бодрствовании.

В состоянии сна различают две фазы – фазу медленного сна (ФМС), включаю-

щего в себя четыре стадии, и фазу быстрого (парадоксального) сна (ФБС).

На 1-й стадии ФМС частоты основного ритма (характерного для расслабленного бодрствования данного человека) замедляются, возникают бета- и тета-волны; снижаются частота сердечных сокращений (ЧСС) и частота дыханий (ЧД), мышечный тонус ослабевает. ▶





мозга, ритмичным, медленным дыханием, снижением мышечного тонуса.

Во время 3-й и 4-й стадий сна мы запасаем энергию – максимально синтезируются так называемые фосфатэргические связи и вырабатывается гормон роста. Если поздно вечером заняться аэробикой, покрутить педали велотренажера, пробежать кросс, то эта часть сна продлится дольше, чем обычно, т.к. потраченная энергия потребует восстановления. Утверждение, что дети растут во сне, абсолютно верно. Справедливости ради надо сказать, что и взрослые растут, но не в высоту, а в ширину, что не каждого радует.

Фаза быстрого (парадоксального) сна или сна со сновидениями, характеризуется быстрыми движениями глаз, очень низкой амплитудой ЭМГ, «пилообразным» тета-ритмом, сочетающимся с нерегулярной ЭЭГ; при этом отмечают «вегетативную бурю» с дыхательной и сердечной аритмией, колебаниями артериального давления, усиление двигательной активности.

Парадоксальный сон был открыт полвека назад, в романтические 50-е

годы, известнейшими американскими сомнологами с российскими корнями Натаниэлем Клейтманом (Kleitman) и Юджином Азерински (Aserinsky). Клейтман, организовавший первую «сонную» школу и лабораторию в Чикаго, как-то прочел в советской печати, что у детей во время сна наблюдаются особые движения глазных яблок. Он решил проверить информацию и зафиксировать эти движения. Эксперимент прошел удачно и показал, что сон – очевидно, неоднородное состояние. Можно сказать, что он напоминает катание на американских горках, когда человек то взмывает ввысь, то стремительно падает вниз, то притормаживает на крутых виражах и, наконец, останавливается.

Многие психические процессы, происходящие в бодрствовании, реорганизуются во сне. Если на ночь посмотреть страшный или эротический фильм, то сон со сновидениями продлится значительно дольше, так как полученную информацию и пережитые эмоции необходимо осмыслить, организовать, заложить в будущую программу поведения.

В классической литературе нередко описываются случаи, когда больные люди или раненые солдаты умирают с первым лучом солнца. Вероятно, в этих случаях наступление рассвета приходится на стадию сна со сновидениями. Почему фаза быстрого сна так опасна (рис. 2)?

Если на первых стадиях вегетативные показатели (артериальное давление (АД), количество сердечных сокращений (ЧСС), частота дыхания (ЧД), мозговая температура и мозговой кровоток (МКр–Т<sup>м</sup>) снижаются, то в быстром сне наблюдается «вегетативная буря». Скачки давления, колебания частоты сердечных сокращений, повышение активности мозга – все это свидетельствует о том, что мозг активно работает. Именно в этот период для людей, страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями, нарушениями мозгового кровоснабжения, вероятность развития инсультов и инфарктов миокарда очень высока.

2-я стадия названа стадией «сонных веретен» – по основному ЭЭГ-феномену – колебаниям синусоидальной формы и волнам высокой амплитуды (в 2–3 раза превосходящим амплитуду фоновой ЭЭГ), двух- или многофазным.

3-я и 4-я стадии или дельта-сон, характеризуются дельта-активностью

## Динамика вегетативных и гормональных показателей по стадиям и фазам сна

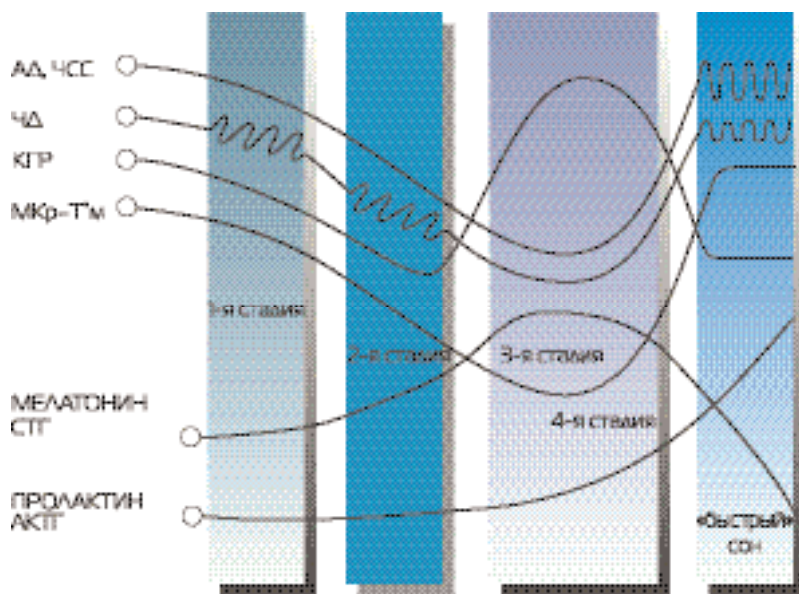


Рис. 2. АД – артериальное давление; ЧД – частота дыханий; КГР – кожно-гальванический рефлекс; МКр – мозговой кровоток; Т<sup>м</sup> – температура мозга; СТГ – соматотропный гормон (гормон роста); АКТГ – адренокортикотропный гормон.

Итак, сон здорового человека состоит из 4–6 циклов (приблизительно по полтора часа каждый), но они разные: в первых двух максимально представлена ФМС, а в утренних – ФБС. В первой половине ночи мы запасаем энергию, а вторую половину ночи посвящаем размышлению.

Характеристики сна с возрастом меняются. У младенцев существует всего два вида сна – активный и спокойный. Первый позже трансформируется в парадоксальный сон и, частично, в 1-ю фазу. Второй – в глубокий дельта-сон и 2-ю фазу. Дети спят 3/4 или 4/5 времени, что абсолютно необходимо для их правильного развития. Годом к 9–10 структура сна становится приблизительно такой же, как у людей среднего возраста. С 40–45 лет сон начинает незаметно изменяться, а после 60 потребность в нем уменьшается. Он становится более поверхностным, процесс засыпания удлиняется.

### Не спать!

Некоторые фантасты и футурологи утверждают, что человечество могло выиграть 20–30% времени, если бы оно победило сон. В начале 60-х годов в Книге рекордов Гиннеса зафиксировано максимальное время, проведенное без сна, – 11 суток (без применения возбуждающих препаратов). Позже были проведены специальные исследования, где депривация сна составляла более 10 суток. Эксперименты показали, что после пятых суток человек терял способность к логической и целенаправленной деятельности, появлялись галлюцинации, что свидетельствовало о расстройстве психики. Кроме того, после пятисуточного отказа от сна человек выглядел бодрствующим, но аппаратура фиксировала засыпание с открытыми глазами. И к концу 11-х суток (а это 264 часа) испытуемый, как говорится, терял человеческий облик. Но самое интересное заключается в том, что после 12–18-часового сна он полностью восстанавливался. Можно утверждать, что из всех наших биологических мотиваций (пить, есть, спать, размно-

жаться и общаться с себе подобными) сон оказался самой суровой необходимостью. Сухую голодовку держат до 10 дней, без еды обходятся месяц, без секса, в принципе, неограниченно, можно вовсе отказаться и от общения, а не спать мы можем только 5 суток – 120 часов. Таким образом, сон – совершенно необходимая часть человеческого бытия, активно организуемая мозгом. В норме он выполняет важную антистрессовую функцию. Не зря люди говорят, что стоит «переспать с проблемами» или «утро вечера мудренее».

Нарушение сна всегда сигнализирует об эмоциональном, физиологическом или социальном неблагополучии, и поэтому в таком случае следует обратиться к психологу, неврологу, психиатру или сомнологу. Лучше вовремя исправить ситуацию, чем бороться с серьезными последствиями. И не стоит поддаваться массовому психозу и обращаться к разного рода колдунам и целителям, которые якобы могут в одночасье решить все проблемы, в том числе и со сном. Во многом такое ▶





поведение обусловлено недоверием к медицине, которая, к сожалению, не всеильна, ожиданием чудесного исцеления, глубоким духовным кризисом, постигшим людей ощущением незащищенности или извечной потребностью человека верить во что-то сверхъестественное и, наконец, бескультурьем.

### Ты приходи ко мне, моя бессонница

Бытует мнение, что не следует принимать снотворные препараты. Мол, от бессонницы никто не умирал, а от злоупотребления лекарствами – многие. Утверждение вдвойне не верно. Во-первых, термин «бессонница» не точен, т.к. не существует людей, которые

вообще никогда не спят. Другое дело, что многие не осознают свое состояние, поэтому в современной классификации появилось понятие – «искаженное восприятие сна». Люди среднего возраста в три раза реже высказывают неудовлетворенность сном, чем пациенты старше 60. Нередко они не больны, а просто плохо осознают старение своего сна. Никому не придет в голову пожаловаться на то, что в свои 80 лет он не может бегать, как в 20. А возжелать сон, как в юности, может каждый.

Однако если бы человечеству не было свойственно заблуждаться, возможно, никогда не появились прекрасные поэтические образы:

*Ты опять со мной, моя бессонница!  
Неподвижный лик твой узнаю.  
Что, красавица, что, беззаконница?  
Разве плохо я тебе пою?*

Анна Ахматова

Во-вторых, страх перед снотворными препаратами возник в результате трагических событий начала 50-х годов. В результате массового применения талидамида (препарата с хорошим эффектом, но с не проверенным действием на беременных женщин) появились на свет десятки тысяч детей с уродствами. Трагедия не только послужила серьезным уроком, но и вызвала необоснованный страх перед всеми снотворными средствами. Современная точка зрения – лучше принять лекарство, чем не спать. Если нарушение сна существует больше трех недель, необходимо обратиться к врачу. Плохой сон это не только плохое дневное бодрствование, но и провокация определенных заболеваний. Таким образом, в понятие «качество жизни» входит и хороший здоровый сон.

### Музыка мозга

Современная сомнология активно развивается и уже сейчас может предложить очень интересный нелекарственный метод лечения нарушений сна – «музыка мозга», – позволяющий преобразовать биоэлектрическую активность мозга в музыку. Чтобы доказать эффективность воздействия та-

кой музыки, были проведены специальные двойные слепые плацебо-контролируемые исследования, т.е. одной группе пациентов давали прослушивать музыку, полученную путем преобразования их собственной ЭЭГ, а другой – музыку, полученную из ЭЭГ другого человека (так называемое плацебо, т.е. пустышка), при этом врач тоже не знал, кому какая музыка назначалась (аналогичные исследования с использованием нашей методики «музыка мозга» были проведены в Канаде и проводятся в настоящее время во Франции). Они показали, что собственная «музыка мозга» пациента очень эффективна и безопасна для лечения нарушений сна. Улучшались не только субъективные показатели сна у 85% больных, но и его структура, оцененная с помощью полисомнографии.

### Полеты во сне и наяву

Что приводит к нарушениям сна? Причин множество: стрессы, депрессии, муки совести, любовные переживания, перевозбуждение, хроническая усталость, болезни. Кроме того, к расстройствам сна (нарушению циркадного ритма) приводят неправильный образ жизни и смена часовых поясов. Проблемы возникают тогда, когда мы удаляемся от дома более, чем на три временных пояса (т.е. на три часа). Перелет в Лондон или Париж скорее всего не доставит никаких неудобств, но если отправиться из Москвы в Америку или во Владивосток, то возникнет хронобиологический сбой почти на три недели. Чтобы восстановить нормальный ритм сна и бодрствования, применяется фототерапия (воздействие ярким белым светом). Методика позволяет не только избавиться от транстемпоральных проблем, но и помогает лечить сезонную депрессию, что очень актуально. Другой подход – применение мелатонина, гормона, вырабатывающегося в эпифизе, синтез которого начинается при снижении освещенности, то есть когда мы закрываем глаза или наступает темнота. В Америке препарат мелатонин продается как пищевая добавка во всех магазинах, у нас – считается лекарст-

вом. Однако на деле мелатонин при приеме внутрь оказался не столь мощным регулятором сна, как ожидалось.

Проблема транстемпоральных перелетов для ряда людей, в первую очередь летчиков, космонавтов становится профессиональной. И несмотря на специальное расписание полетов, происходит сбой биологических часов. Впрочем, трудности возникают и у любителей бодрствования по ночам.

### Голубиное счастье

Традиционно люди делятся на «жаворонков» и «сов». Одним свойственно утреннее бодрствование, другим – начало активной жизни во второй половине дня. К счастью, ярко выраженные «жаворонки» и «совы» встречаются нечасто и испытывают ряд неудобств от своего образа жизни. Однако при желании расписание сна и бодрствования можно подкорректировать с помощью фототерапии или того же мелатонина. Но чтобы сделать из «совы» «жаворонка» или наоборот, потребуются годы. Причем совершенно не ясно, насколько это необходимо и какая нагрузка при этом ляжет на организм.

К счастью, большинство людей – «голуби», в разные периоды жизни подстраивающиеся то под «сов», то под «жаворонков». Правда, история знает и очень остроумные выходы из положения. Сталин – типичная «сова», – дабы не менять своих привычек, просто подстроил ритм жизни целого государства под себя. Но, к счастью, тех, кто наделен неограниченной властью, единицы, так что мы можем безмятежно летать в своих снах тогда, когда нам захочется.

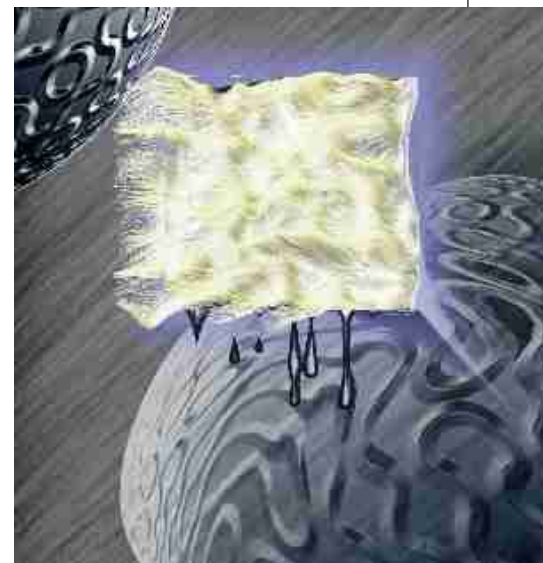
Настоящий сон, в том виде, в котором он существует у человека, свойственен только теплокровным – млекопитающим и птицам. Самое парадоксальное, что у птиц значительную часть занимает тот сон, который свойственен человеку, и называется парадоксальным или сном со сновидениями. А у дельфинов, несмотря на то, что мы готовы считать их очень умными и интеллектуальными существами, эта фаза отсутствует или ученые ее до сих пор не зафиксировали. (Более подроб-

но о дельфинах читайте в следующих номерах нашего журнала.) У собак и кошек, например, присутствуют все фазы сна, но иная схема жизни порождает и иной сон. Люди, давно перебрывшиеся из пещер в уютные спальни с удобными кроватями и накрахмаленными душистыми простынями, позабыли об опасностях, подстерегавших их на каждом шагу, об изнурительных поисках пищи, о ливнях и снегопадах, от которых негде было укрыться, и оставили в прошлом чуткий тревожный сон. Развитие цивилизации, изменяя материальные, культурные и духовные ценности, влияет на структуру и характер нашего сна, и как физиологический процесс, и как сновидения.

В принципе, сон создан природой для того, чтобы мы могли, отключившись от внешнего мира, накопить энергию, реорганизовать мысли, посмотреть на себя изнутри. Зигмунд Фрейд называл сновидения «королевской дорогой к бессознательному». Наши сновидения подобны окошку, через которое мы можем подглядывать за собой. ■

*Литературная запись беседы: В.Рой*

*Более подробную информацию Вы можете получить на сайте Сомнологического центра Министерства Здравоохранения РФ [www.sleepmed.ru](http://www.sleepmed.ru)*



## РОССИЯ: ПОИСК САМООПРЕДЕЛЕНИЯ



XXI век с его новыми проблемами и угрозами обостряет вопрос об исторических судьбах России. Автор – известный ученый-экономист – размышляет об особенностях развития нашей страны и ее будущем, рассказывает о важнейших страницах российского предпринимательства и отечественной школы экономики, об известных русских промышленниках былых времен и современных предпринимателях. В книге проанализированы сложные и противоречивые отношения экономической науки и власти. Ученый с тревогой и болью ставит вопрос о том, способна ли нынешняя Россия извлечь уроки из своей истории и выбрать правильный путь в меняющемся мире.

Выбранный стиль – книга построена в виде серии очерков – освобождает

автора от обязательных форм изложения и позволяет включить личные воспоминания, фрагменты работ других исследователей, многочисленные иллюстрации и архивные материалы.

Автор не стремится к каким-либо окончательным выводам и жестким оценкам, его книга – искренняя попытка осмысления путей самопознания нашей страны, результат многолетних наблюдений, впечатлений и размышлений, накопленных академиком в процессе многочисленных командировок, работы директором Института экономики РАН, заместителем председателя Совета министров СССР.

**Абалкин Л.И. Россия: поиск самоопределения /Леонид Абалкин. – М.: Наука, 2002. – 428 с. – ISBN 5-02-006251-0 (в пер.)**

## СОЮЗ ТЕХНОЛОГИЙ

Читайте в следующем номере журнала



Индия – загадочная страна. Говоря об Индии, нельзя не упомянуть об уникальных медицинских практиках этой страны. Аюрведа – одна из древнейших медицинских систем мира, ее возраст около 5 тысяч лет. Она настолько детально разработана, что является настоящей «энциклопедией здоровья». Это делает ее вполне доступной для рационального человека Запада. Но Аюрведой вклад Индии в мировую медицину не ограничивается. Известные фармацевтические фирмы этой страны обладают новейшими ноу-хау и удерживают прочные позиции на мировом рынке.

Аюрведа достаточно популярна и в России, индийские лекарства – тоже. Но с Индией нас связывают и более прочные – духовные – узы. О том, что значат наши страны друг для друга – читайте на страницах нашего журнала.



## ВВЕДЕНИЕ

### В КВАНТОВУЮ ТЕОРИЮ ИНФОРМАЦИИ



Пятый выпуск серии «Современная математическая физика. Проблемы и методы» посвящен изложению основных понятий и главных результатов новой научной дисциплины – квантовой теории информации. Возможности квантовых систем передачи и преобразования информации проиллюстрированы на примерах сверхплотного кодирования, квантовой телепортации и квантовых алгоритмов. Рассматриваются энтропийные и информационные характеристики квантовых систем. Подробно обсуждается понятие квантового канала связи, его классическая и квантовая пропускные способности, а также передача классической информации с помощью сцепленного состояния. Сформулировано несколько принципиальных

открытых проблем, решение которых явилось бы существенным вкладом в квантовую теорию информации. В лекциях приведены необходимые сведения из классической теории информации и дано подробное введение в статистическую структуру квантовой теории, поэтому для понимания лекций достаточно владения основными общематематическими дисциплинами.

**Холево А. С. Введение в квантовую теорию информации. – М.: МЦНМО, 2002, 128 с.**

## БУДУЩЕЕ ВСЕЛЕННОЙ

### И БУДУЩЕЕ НАШЕЙ ЦИВИЛИЗАЦИИ



Книга о судьбе Вселенной и цивилизации представляет собой сборник статей ученых разных стран мира, участников симпозиума «Будущее Вселенной и будущее нашей цивилизации», который был проведен в 1999 г. под эгидой ЮНЕСКО в Будапеште.

Наша цивилизация должна стать частью земной экосистемы, ее будущее зависит от коллективной мудрости всего населения планеты. Среди опасностей, угрожающих человечеству, ученые выделяют не только нарушение экологического баланса, но и потерю интереса к науке и образованию, поэтому одной из задач современно-

сти является популяризация науки – таковы основные вопросы, затронутые авторами книги.

Следующий симпозиум «Будущее жизни и будущее нашей цивилизации» состоится в октябре 2003 г. в Салониках.

**Будущее Вселенной и будущее нашей цивилизации / Ред. и пер. В. В. Бурдюжа. – М.: ЗАО «Кудесники», 1999. – 354 с.**

## Древние чудовища в красочных книгах нового поколения

Энциклопедии «Прогулки с динозаврами» и «Прогулки с чудовищами» с полным основанием можно назвать книгами XXI века! Они подготовлены по материалам популярного телевизионного сериала Британской телерадиовещательной корпорации Би-Би-Си, и уже завоевали признание миллионов читателей во всем мире. И это не удивительно, ведь в их создании приняли участие самые известные специалисты в области палеонтологии и палеоботаники. Издания обязаны своим появлением мастерству и творческой самоотдаче аниматоров и фотографов, скрупулезно восстановивших облик древних чудовищ и их среду обитания.

Книги сочетают в себе богатейший иллюстративный материал, строгую научность отбора фактов с очень интересными и живыми комментариями. Все это позволяет нам представить, какой образ жизни вели животные, какой была окружающая их природа, узнать, почему столь могущественные династии огромных существ, процветавшие не одну сотню миллионов лет, вымерли по историческим меркам почти мгновенно, оставив нам лишь разрозненные и нечеткие следы своего пребывания на Земле. Не здесь ли кроются ответы на вопросы, которые задает себе человечество: «Что ожидает нас, и так ли гостеприимна и приспособлена для жизни наша планета?»

Цель книг – объединить всю информацию, известную ныне науке, чтобы перенести читателя на миллионы лет назад, в доисторический мир, предельно живо и интересно рассказать о находках и научных открытиях, на которых основываются наши знания, показать реальную жизнь самых необычайных существ, которые когда-либо обитали на нашей планете.



**Хейнс Т.** Прогулки с динозаврами.

*Пер. с англ. Е. Токаревой. – М.: Эгмонт Россия Лтд, 2002, – 288 стр.*

*Научный редактор русского перевода – доктор биологических наук Е. Н. Курочкин*

Вот уже более 150 лет динозавры изучают ученых и восхищают простых людей – возможно, потому, что кажутся столь чуждыми на современной нам планете и в то же время пугающе настоящими. Их невероятные размеры и сила вызывают в нас желание мысленно воссоздать этих существ.

Но как вообразить себе мир, столь непохожий на наш? Как переместиться на десятки и сотни миллионов лет назад? Ведь тот далекий мир совершенно иной. Нет трав и цветов, нет лиственных деревьев, в небе не летают птицы, климат очень жаркий, отсутствуют привычные нам моря, реки, континенты...

Это абсолютно другая планета! Здесь безраздельно властвуют стада огромных шумных рептилий, следом за которыми, выискивая слабых и беззащитных, бродят свирепые хищники. В захватывающее путешествие на эту планету приглашает вас книга «Прогулки с динозаврами».



**Хейнс Т.** Прогулки с чудовищами.

*Пер. с англ. Е. Токаревой. – М.: Эгмонт Россия Лтд, 2003, – 288 стр.*

*Научный редактор русского перевода – доктор биологических наук Е. Н. Курочкин*

Каким был наш мир 50 миллионов лет назад? Тектонические силы раскололи гигантские материки на несколько более мелких континентов. Древние хвойные и папоротниковые растения сменились цветковыми. Изменился климат. На смену динозаврам пришли птицы и млекопитающие.

Что это были за существа? Как они выглядели? Чем питались? В том древнем мире плотоядные птицы, весом в полтонны, охотятся на карликовых лошадей! Древние предки китов – четвероногие существа, внешне похожи на выдру с мордой крокодила! Древние носороги питаются листьями с верхних веток деревьев, подобно современным жирафам!

Теперь все любители палеонтологии и древнейшей истории нашей планеты смогут увидеть совершенно невероятных, но реально существовавших животных на страницах энциклопедии «Прогулки с чудовищами».

### ЭТИ КНИГИ МОЖНО ЗАКАЗАТЬ ПО ПОЧТЕ.

Для этого, нужно отправить письмо или открытку с вашим заказом по адресу: 125047, Москва, а/я 177, «Эгмонт Россия».

В заказе укажите свой точный домашний адрес с почтовым индексом, название книги и номер ее лота («Прогулки с динозаврами» – лот 142, «Прогулки с чудовищами» – лот 143). Для ускорения отправки сделайте на конверте или открытке пометку «Супер-книги».

Цена одной книги **720 руб.** Оплата производится на почте при получении заказа. (цена указана с учетом упаковки и доставки, за исключением стоимости почтового перевода (8–22% от цены в зависимости от региона) и авиатарифа для удаленных районов).



# НАБЛЮДАЙТЕ ЗА ВЕТРОМ

Доплеровские радары Nexrad достаточно чувствительны для того, чтобы обнаружить пчелу на расстоянии 30 км. В летнее время стаи жуков можно принять за перемещающийся холодный фронт.

Марк Фичетти

В телевизионных новостях появляются карты районов ливней или снегопадов, а метеоролог расхваливает доплеровскую радиолокационную станцию, принадлежащую своей телевизионной компании, которая, безусловно, – улучшенный вариант обычных РЛС. Но и ее ждет модернизация.

Радары генерируют СВЧ-излучение, отражающееся от воды, льда и атмосферных частиц. Но они отображают лишь расстояние до таких частиц (например, дождевых капель) и их размер. Кроме того, доплеровский радар способен оценить скорость и направление ветра на различной высоте. Сегодня национальная сеть США состоит из 158 доплеровских РЛС и известна под названием *Nexrad*. Развернутая в 90-х гг. Национальным океаническим и атмосферным управлением (NOAA), она позволяет метеорологам Национальной погодной службы NOAA прогнозировать погодные условия с большей точностью. Многие региональные метеорологические станции являются подписчиками коммерческих служб, которые обрабатывают бесплатную информацию от *Nexrad* и дают возможность отслеживать перемещение ураганов и торнадо в режиме реального времени.

Функциональность доплеровских радаров имеет конкретные ограничения. Поскольку для наблюдения за окружающей тропосферой лучи направляются слегка вверх, они пропускают осадки и ветер, находящиеся очень близко от поверхности земли. К тому же определяются только горизонтальные размеры облучаемых частиц, так как излучаются волны с горизонтальной поляризацией (вектор электрического поля лежит в горизонтальной плоскости). Инженеры из Национальной лаборатории сложных метеоусловий, расположенной в Нормане, штат Оклахома, ведут разработку поляриметрических радаров, излучающих и вертикально поляризованные волны, что позволит измерить вертикальные размеры частиц. Проведение парных измерений предоставит полную информацию о размере, форме и плотности осадков, частиц льда и облаков. Таким образом, метеорологи будут давать более точный прогноз. NOAA планирует внедрить новшество в течение 5–10 лет.

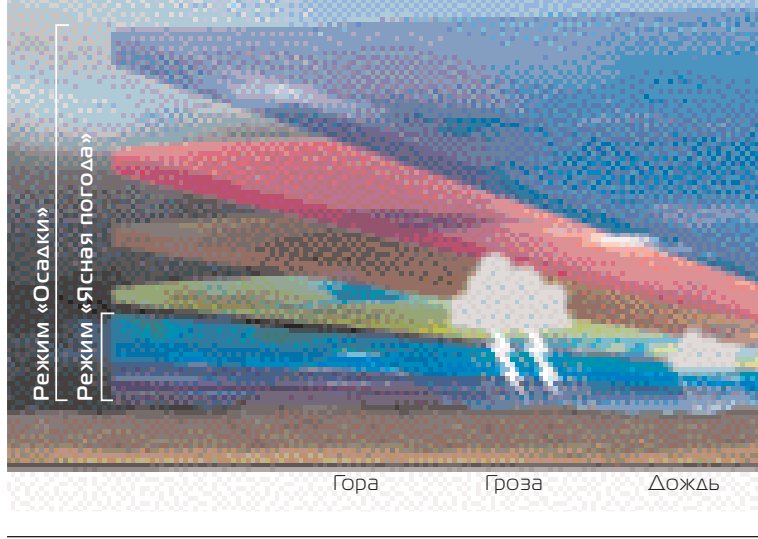
Штормовая лаборатория также экспериментирует с фазированной антенной решеткой, применяемой в ВМС США. Этот радиолокатор представляет собой наиболее современный способ обнаружения вражеских объектов. Используя несколько лучей и частот, он может сократить время сканирования ураганов системой *Nexrad* с пяти минут до одной. ■

## Радиолокационная антенна

Параболическая тарелка имеет 8,5 м в диаметре и вращается при помощи азимутального привода. Она направлена вверх и зафиксирована на горизонтальном валу. В фокусе парабооида установлен приемопередающий антенный рупор. Стекловолоконный радиопрозрачный кожух защищает конструкцию от внешних воздействий.

## Доплеровская радиолокационная станция *Nexrad*

в ясную погоду совершает пять сеансов кругового обзора атмосферы за 10 минут, при этом угол наклона луча изменяется от 0,5° до 4,5° от поверхности земли. Поочередно включаются два режима сканирования: измерения по отражению для обнаружения осадков и доплеровские измерения для определения скорости и направления ветра. В плохую погоду радар делает 14 полных оборотов (не все показаны) за пять минут, а угол наклона луча достигает 19,5°. Когда расстояние превышает 220 км, отраженный сигнал поступает с очень большой высоты и не представляет ценности. При дальности обзора в 160 км луч, направленный под углом 0,5°, сканирует атмосферу на высоте от 2,1 до 5,1 км. Погодные явления, происходящие над самой поверхностью Земли и в «конусе молчания» над радаром, не обнаруживаются. С помощью цифровой обработки сигнала удастся компенсировать местные помехи – отражения от зданий и рельефа на расстоянии ближе 36 км.

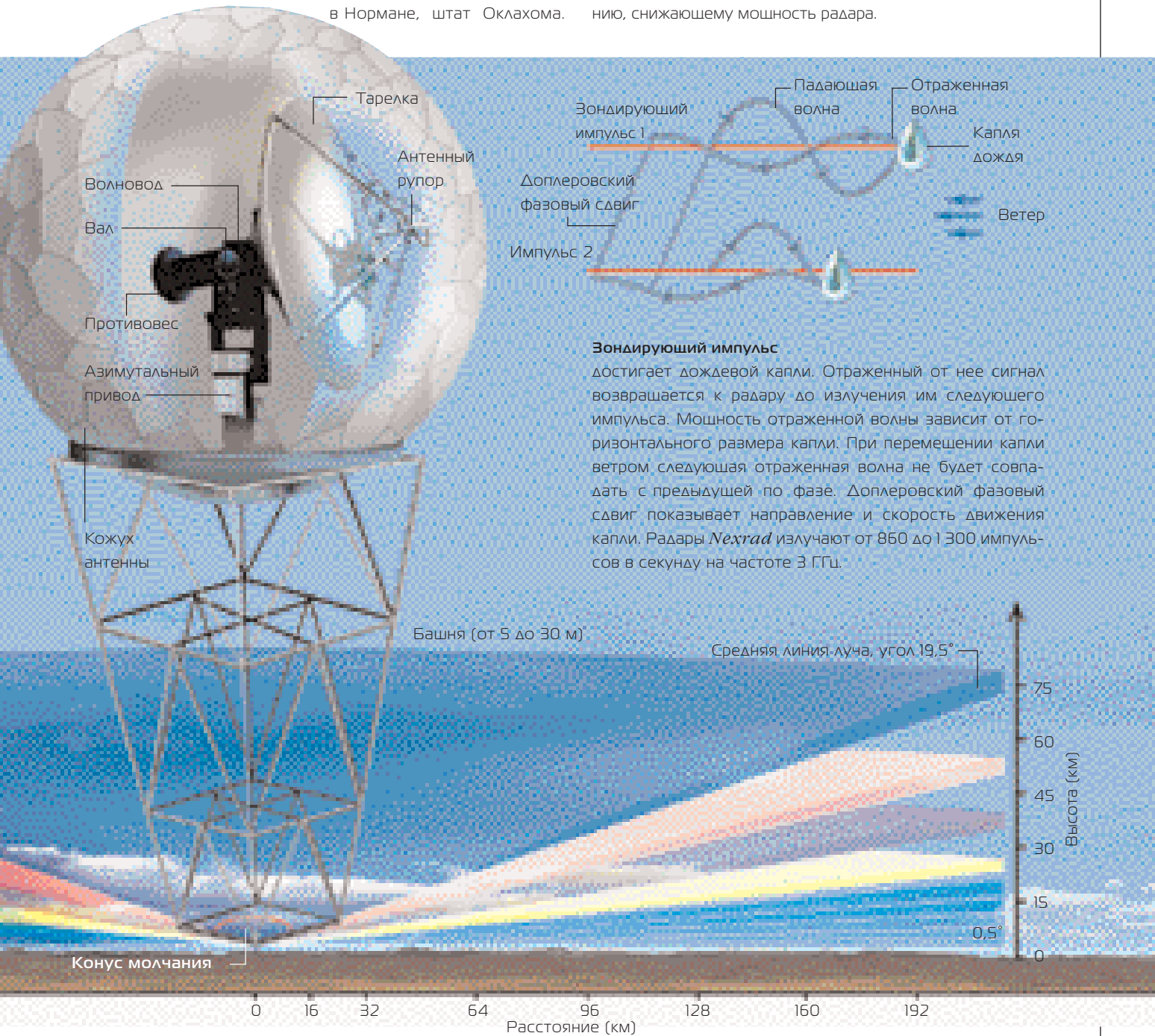


**Пчелки и птички.** По словам оператора РЛС Джейми Бетчера (Jami Boettcher), доплеровские радары *Nexrad* достаточно чувствительны для того, чтобы обнаружить пчелу на расстоянии 30 км. В летнее время стаи жуков можно принять за перемещающийся холодный фронт. В апреле и сентябре излучение, отражающееся от летящих по ветру мигрирующих птиц, настолько ярко выражено, что регистрируемая скорость ветра оказывается завышенной. Метеорологи учитывают такие аномалии.

**Непогода.** Доплеровский радар был разработан в Национальной лаборатории сложных метеоусловий, расположенной в Нормане, штат Оклахома.

Здесь также находятся: штаб-квартира Национальной погодной службы *NOAA*, основной источник прогнозов в США; учебное подразделение и центр эксплуатации РЛС *NOAA*, обеспечивающий централизованное метеорологическое, программное и техническое сопровождение всех радаров *Nexrad*.

**Кожух антенны.** Вглядитесь в рисунок, и вы заметите, что все стекловолоконные панели антенного кожуха имеют неправильную форму и разную степень выпуклости. Если бы они были одинаковы и плотно примыкали друг к другу, излучаемые и отраженные волны подвергались бы когерентному рассеянию, снижающему мощность радара.



**Зондирующий импульс**

достигает дождевой капли. Отраженный от нее сигнал возвращается к радару до излучения им следующего импульса. Мощность отраженной волны зависит от горизонтального размера капли. При перемещении капли ветром следующая отраженная волна не будет совпадать с предыдущей по фазе. Доплеровский фазовый сдвиг показывает направление и скорость движения капли. Радары *Nexrad* излучают от 850 до 1300 импульсов в секунду на частоте 3 ГГц.

# СОВЕРШЕННЫЙ БИЛЬЯРД

Дэнис Шаша

Представьте, что вы играете в пул (американский бильярд) на специальном столе размером  $3 \times 1$  м. Стол спроектирован идеально: когда шар ударяется о борт, угол падения равен углу отражения. Более того, стол установлен таким образом, что его короткие стороны направлены с севера на юг, а длинные – с запада на восток. Местоположение каждого шара определяется двумя координатами  $(x, y)$ , где  $x$  – расстояние на восток от юго-западного угла стола, а  $y$  – дистанция на север от той же точки. Лу-

зы находятся только по углам стола, боковые отсутствуют.

Предположим, вы хотите положить шар из положения с координатами  $(2,0)$  в юго-западную лузу – положение  $(0,0)$ , но другой шар мешает произвести прямой удар. Самый простой способ – послать шар в противоположный борт стола, как показано на рисунке а. Нужно просто направить его на северо-запад (наклон  $-1$ ), и при попадании в точку с координатами  $(1,1)$  карамболом шар пойдет в лузу. Также легко уви-

деть, как можно справиться с этой задачей, используя три рикошета от бортов. Направьте шар на северо-запад (наклон  $-2$ ), как показано на рисунке б. Но прежде чем очутиться в лузе, он попадет в точки с координатами  $(1^{1/2}, 1)$ ,  $(1,0)$  и  $(1/2, 1)$ .

Но как произвести удар, коснувшись бортов только дважды? Предположим, кто-то хочет поставить достаточно крупную сумму, полагая, что вам не удастся исполнить такой трюк. Каким должен быть наклон, чтобы попасть в лузу через два рикошета? ■

ОБ АВТОРЕ:

**Дэнис Шаша** (Dennis E. Shasha) – профессор информатики в Институте Courant при Нью-Йоркском университете. Его последняя книга называется «Киберголоволомки доктора Экко». (Dr. Ecco's Cyberpuzzlez).



Рис. а



Рис. б

Ответ на загадку, опубликованную в прошлом месяце: разведчик придумывает два произвольных больших простых числа и дает пограничникам число, являющееся результатом перемножения этих чисел. По возвращении разведчик называет пограничнику эти два простых числа, тот, в свою очередь, их перемножает и смотрит, совпадает ли полученное число с ранее полученным. Необходимо учитывать, что даже в случае, когда пограничник раскроет ранее данное число, будет практически бесполезно для противника пытаться найти множители, так как вычислительный процесс очень сложный. Подробное объяснение можно найти на сайте [www.sciam.com](http://www.sciam.com)



# АЙ ДА НОВОСТИ!

Чепуха со всего света



Стив Мирски

До чего далеко простираются границы человеческой глупости! Изложенные ниже новости – лишнее тому подтверждение.

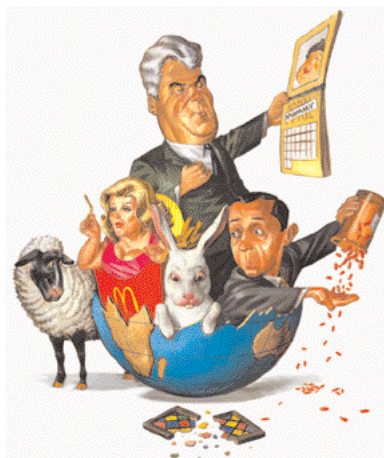
### Пересмотр возрастных критериев.

В августе 2002 г. агентство *Associated Press* сообщило, что президент Туркменистана Сапармурад Ниязов издал указ, согласно которому к категории несовершеннолетних относятся лица до 25 лет, а пожилыми считаются те, кому за 85. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения, продолжительность жизни для туркменских мужчин – 60 лет, а для женщин – 65. Таким образом, новый геронтологический указ Ниязова, как ни прискорбно, означает, что они все умрут молодыми. Но это еще не все. В начале августа Ниязов назвал первый месяц осени в свою честь. Он также переименовал апрель в «мать». Говорят, что в честь своей матери. Может быть, каким-то образом это связано с высказыванием Т. С. Элиота о том, что апрель – самый кровавый месяц.

### Больницы вредны для здоровья.

В сентябрьском выпуске издания *Archives of Internal Medicine* были опубликованы результаты исследований по применению лекарственных препаратов в 36 больницах и частных клиниках штатов Колорадо и Джорджия. Отчет показал, что в медицинских учреждениях, рассчитанных на 300 пациентов, в каждом пятом случае была допущена ошибка при назначении

лечения. 43% больных получали лекарства не вовремя, 30% их просто забывали дать, у 17% была неправильная дозировка, у 4% – несанкционированная выдача. В 7% случаев назначались препараты, наносившие вред здоровью пациентов.



Таким образом, ежедневно в больнице, рассчитанной на 300 человек, совершается 40 серьезных ошибок, связанных с применением лекарственных препаратов. Когда я поделился своими наблюдениями со знакомой из медицинского училища, она сказала: «Всего лишь?» Кроме того, исследования показали, что более 50% терапевтов-выпускников учебных заведений осваивают лишь базовый курс по медицине. И это в «хороших» вузах! Почему-то в штате Колорадо ошибок было больше, чем в Джорджии. Меня это крайне удивило, ведь совсем недавно я смотрел фильм, где операция по ампутации ноги проводилась в больнице Атлан-

ты без анестезии. Называлась картина «Унесенные ветром».

**Кролики копают лучше.** В августе агентство *Reuters* сообщило, что главная археологическая находка в центральной Англии была сделана «группой бесстрашных кроликов». Когда животные «раскапывали ничем не примечательный пригорок», на поверхности показались фрагменты оконной рамы феодального замка XIV в. Замок был снесен в XV в., когда хозяева решили построить более просторные хоромы, ведь старый замок закрывал вид на, возможно, действительно прекрасный холм.

**Кверху задом!** В сентябре в одной из публикаций Университета Дьюка сообщалось, что «ученые открыли редкий мутированный ген, названный в честь греческой богини Афродиты Каллипиги, который способствует появлению у некоторых баранов необычайно крупного и мускулистого зада». И хотя, вероятно, бараны предпочли бы иметь большие рога, находка, тем не менее, позволила пролить свет на образование жиров и развитие мускулатуры.

**Замена масла.** В сентябре «Макдоналдс» объявил, что картофель фри теперь будут жарить на новом масле, что снизит количество жиросодержащих кислот наполовину. Подобные действия, несомненно, повлияют на образование жиров, развитие мускулатуры и продолжительность жизни туркменских мужчин. ■



## ПОЧЕМУ МЫ ЗЕВАЕМ?

Марк Эндрюс (Mark A. W. Andrews), профессор физиологии и директор независимой учебной программы из Колледжа остеопатической медицины в Лейк-Эри объясняет.

Зевание сигнализирует об изменении условий протекания тех или иных процессов в организме. Как показали наблюдения, мы зеваем и при утомлении, и при пробуждении, и когда просто хотим расслабиться.

Проснувшись и зевнув, мы, как и животные, запускаем механизм взаимодействия между мозгом, находившимся в состоянии сна, и организмом.

Раньше считалось, что человек зевает от нехватки кислорода. Но даже зародыши зевают в утробе матери, хотя их легкие не вентилируются вовсе. Кроме того, процессы дыхания и зевания контролируют разные участки мозга. Низкий уровень кислорода в паравентрикулярном центре гипоталамуса мозга (ПВЦ) может вызвать зевоту.

Бытует мнение, что мы зеваем от усталости или от скуки. Рассуждения не безупречны, так как, например, ПВЦ также отвечает за эрекцию пениса, событие, явно не связанное со скукой.

Выявлено, что ПВЦ гипоталамуса служит «центром зевоты» мозга. Он содержит массу химических веществ, которые могут стимулировать зевоту, включая дофамин, глицин, окситоцин и адренкортикотропинный гормон (АСТН). Уровень гормона АСТН повышается ночью и перед пробуждением, вызывая зевоту и напряжение мышц (потягивание). Похоже, что зевание также требует производства окиси азота особыми нейронами в ПВН, стимулирует клетки в паравентрикулярном центре гипоталамуса мозга, которые в свою очередь активизируют клетки ствола мозга и/или гиппокама, вызывающего зевоту. Кроме того, подавляя зевоту, вы ощущаете дискомфорт.

Зевать заразно. И непонятно, почему так происходит.

Согласно последним теориям, зевота – реакция организма на изменения, происходящие во внешней среде или внутри него самого. Возможно, она служит синхронизации поведения членов группы (животных или людей) в определенной ситуации. Если причина заключается именно в этом, то зевота для человечества – рудимент, потерявший свое истинное значение. ■



## ПОЧЕМУ ЗВЕЗДЫ МЕРЦАЮТ?

На вопрос отвечает Джон Грэхем (John A. Graham), астроном из Вашингтонского института Карнеги

Представьте себе, что на дне бассейна лежит блестящая монетка. Стоя на бортике, вы заметите, что она как будто шевелится. Это происходит потому, что вода в бассейне преломляет лучи света, отраженные предметом.

Что-то похожее происходит тогда, когда мы смотрим на мерцающие звезды ночного неба. Их свет должен преодолеть земную атмосферу прежде,

чем достигнет наших глаз. Турбулентные потоки меняют оптические свойства земной атмосферы. Воздушные возмущения действуют как линзы и призмы, которые изменяют угол падения звездных световых лучей на минутные величины несколько раз за секунду.

Для объектов, расположенных ближе к Земле, например Луны, подобные отклонения световых лучей усредняются. (Хотя если мы будем рассматривать Луну через мощный телескоп, то мерцание также будет заметно.) Звез-

ды находятся так далеко, что выглядят как точечные источники света. Достигающие нас световые лучи меняют свою интенсивность. Планеты Марс, Венера, Юпитер, находящиеся к Земле поближе, очень похожи на яркие звезды. Но если рассматривать их через телескоп, они выглядят не как точки, а как диски определенных размеров. Мерцания соседних точек диска происходят независимо друг от друга, ослабление яркости одной совпадает с усилением другой. Поэтому мерцание планет практически незаметно. ■



Читайте в апрельском выпуске журнала

- Арктический лед тает, но паниковать рано
- Гамма-всплески и темное вещество
- Пища и эволюция мозга
- Тайна хореи Гатингтона
- Фрактальный хаос

Оформить подписку на журнал «В мире науки» можно:

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



Розничная продажа в Москве осуществляется:

в передвижных киосках «Метрополитеневец» около станций метро, в киоске «Деловые люди», 1-я Тверская-Ямская ул., д. 1.

|  |  |                      |       |
|--|--|----------------------|-------|
|  | Негосударственное образовательное учреждение<br>«Российский новый университет» |                      |       |
|  | Расчетный счет   | 40703810200000010014 |       |
|  | в КБ «Ист-Бридж Банк» г. Москва  | БИК 044579128        |       |
|  | Корреспондентский счет   | 30101810500000000128 |       |
|  | Идентификационный номер  | ИНН 7714082749       |       |
|  | _____<br>Фамилия, И.О., адрес плательщика                                      |                      |       |
|  | Вид платежа  | Дата                 | Сумма |
|  | Подписка на журнал<br>«В мире науки»   |                      |       |
|  | Плательщик   |                      |       |
|  | Негосударственное образовательное учреждение<br>«Российский новый университет» |                      |       |
|  | Расчетный счет   | 40703810200000010014 |       |
|  | в КБ «Ист-Бридж Банк» г. Москва  | БИК 044579128        |       |
|  | Корреспондентский счет   | 30101810500000000128 |       |
|  | Идентификационный номер  | ИНН 7714082749       |       |
|  | _____<br>Фамилия, И.О., адрес плательщика                                      |                      |       |
|  | Вид платежа  | Дата                 | Сумма |
|  | Подписка на журнал<br>«В мире науки»   |                      |       |
|  | Плательщик   |                      |       |