

ежемесячный научно-информационный журнал

SCIENTIFIC
AMERICAN

В мире науки

№05 2009

**ПАРНИКОВЫЙ
ГАМБУРГЕР**

Роль мясоедения
в глобальном потеплении

**НАНОРАДИО
ДЛЯ МИКРОРОБОТОВ**

Что может
одна нанотрубка

**ЯДЕРНЫЙ
МОНИТОРИНГ**

Все тайное
становится явным

ГОЛАЯ СИНГУЛЯРНОСТЬ

Странная сестра черной дыры

ЭЙНШТЕЙН ОШИБСЯ?

Кванты путают карты

ISSN 0208-0621



09005



9 770208 062001

>

www.sciam.ru

за пределы
обыденности

ВЗГЛЯД

самая свежая информация
о последних достижениях науки
и высоких технологий

ежемесячный научно-информационный журнал

SCIENTIFIC
AMERICAN

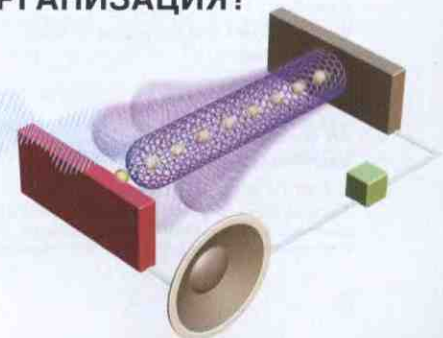
В мире науки

содержание

МАЙ 2009

ГЛАВНЫЕ ТЕМЫ НОМЕРА:

- 18** **ФИЗИКА**
КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА УГРОЖАЕТ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ
Дэвид Алберт и Ривка Галчен
Квантовая запутанность противоречит некоторым из наших глубочайших интуитивных представлений о мире и может «взорвать» специальную теорию относительности Эйнштейна
- 26** **ГОЛЫЕ СИНГУЛЯРНОСТИ**
Панкадж Джоши
Долгое время физики полагали, что это тревожащее порождение черной дыры не может существовать в природе. Так ли это?
- 34** **КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА**
НОВЫЙ РАССВЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАКЕТ
Эдгар Чуэйри
Эффективные плазменные электрореактивные двигатели открывают новые горизонты в исследованиях пограничных областей Солнечной системы
- 42** **МЕЖДУНАРОДНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**
МОНИТОРИНГ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ
Пол Ричардс и Вон Юнг Ким
Методы, позволяющие отследить проведение испытаний ядерного оружия, стали столь надежными, что ни одно государство не сможет тайно произвести взрыв ядерного устройства военного назначения
- 50** **НАНОТЕХНОЛОГИИ**
САМЫЙ МАЛЕНЬКИЙ РАДИОПРИЕМНИК В МИРЕ
Эд Регис
Одна углеродная нанотрубка может работать как радиоприемник, воспринимающий и воспроизводящий мелодии
- 56** **ТАМ, ВНИЗУ, ВСЕ ЕЩЕ МНОГО НАНОБУМА**
Юрий Третьяков и Евгений Гудилин
В последнее время нанотехнологии стали рассматривать как своеобразную чудодейственную панацею, которая призвана привести к кардинальному улучшению жизни
- 62** **ПОЧВОВЕДЕНИЕ**
СУЩЕСТВУЕТ ЛИ В ПОЧВАХ НАНОСТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ?
Глеб Добровольский и Геннадий Федотов
Почвенный покров Земли — кожа нашей планеты — кажется однообразным и малоинтересным объектом изучения лишь при поверхностном взгляде



Учредитель и издатель: ЗАО «В мире науки»

Главный редактор: С.П. Капица

Заместители главного редактора: А.Ю. Мостинская
О.И. Стрельцова

Зав. отделом естественных наук: В.Д. Ардаматская

Зав. отделом российских исследований: Ю.Г. Юшквичюте

Выпускающий редактор: М.А. Янушкевич

Корреспонденты: Е.В. Кокурина, Д.А. Мисюров

Над номером работали: А.Н. Божко, А.В. Ващенко,
А.Н. Воинов, А.А. Гендин, Е.А. Гудилин,
Г.В. Добровольский, А.Р. Кадырова, Б.А. Квасов,
Т.Н. Лапшина, Т.А. Митина, М.Б. Молчанов,
П.П. Мостинский, Б.И. Перлина, В.В. Рочев,
О.С. Сажина, И.Е. Сацевич, В.И. Сидорова,
А.А. Сорокин, Ю.Д. Третьяков, И.П. Фролова,
Г.Н. Федотов, Б.В. Чернышев, Н.Н. Шафрановская

Научные консультанты:
доктор физико-математических наук,
академик РАН В.А. Рубаков

Арт-директор: Л.П. Рочева

Корректура: Я.Т. Лебедева

Секретарь: И.И. Сорина

Генеральный директор
ЗАО «В мире науки»: О.А. Василенко

Главный бухгалтер: Н.М. Воронина

Бухгалтер: О.В. Гузий

Отдел распространения, подписка: М.К. Бирюкова
Л.В. Леонтьева

Адрес редакции и издателя:

105005, Москва, ул. Радио, д. 22, к. 409

Телефон: (495) 727-35-30, тел./факс: (495) 925-03-72

e-mail: info@sciam.ru; www.sciam.ru

Иллюстрации предоставлены Scientific American, Inc.

В верстке использованы шрифты Helios и BookmanC

Фото на обложке: CORBIS/PFI

Отпечатано:

ООО ИД «Медиа-Пресса», 127147, Москва, ул. Правды, д. 24.

Заказ № 90768

© В МИРЕ НАУКИ

Журнал зарегистрирован в Комитете РФ по печати.

Свидетельство ПИ №ФС77-19285 от 30.12.2004

ЗАО «В мире науки» входит в состав Гильдии издателей
периодической печати

Тираж: 11 600 экземпляров

Цена договорная.

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

SCIENTIFIC AMERICAN

ESTABLISHED 1845

Editor in Chief: John Rennie

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

Chief news Editor: Philip M. Yam

Contributing editors: Marguerite Holloway,
Michelle Press, Michael Shermer,
Sarah Simpson, W. Wayt Gibbs

Chairman: Brian Napack

President: Steven Yee

Vice President and managing director,
international: Kevin Hause

Vice President: Frances Newburg

Chairman emeritus: John J. Hanley

Art director: Edward Bell

Vice President and publisher: Bruce Brandfon

© 2007 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.

66

НАУКИ О ЗЕМЛЕ ПРОИСХОЖДЕНИЕ ДНА ОКЕАНА

Питер Келемен

На больших глубинах дно океана покрыто лавой от извержений подводных вулканов. Только недавно геофизики наконец смогли раскрыть тайну ее возникновения

72

НЕЙРОНАУКА ОФОРМЛЕНИЕ МОЗГА

Хелен Барбас и Клаус Хильгетаг

Знание о том, почему и как поверхность головного мозга приобретает свою складчатую форму, поможет при диагностике и лечении психических расстройств

78

ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА ПАРНИКОВЫЙ ГАМБУРГЕР

Натан Фиала

Производство говядины наносит серьезный ущерб экологии

РАЗДЕЛЫ:

ОТ РЕДАКЦИИ

3

КОНТРОЛЬ НАД ВООРУЖЕНИЯМИ: ПРИЕМЛЕМЫЙ РИСК

4

50, 100, 150 ЛЕТ ТОМУ НАЗАД

6

СОБЫТИЯ, ФАКТЫ, КОММЕНТАРИИ

- Вирус в мозге
- Битва за биоресурсы
- Вторая жизнь фотонов
- Разорение Ирака
- Столкновение философий

16

ПРОФИЛЬ ТЕОРИЯ СМЕРТЕЛЬНОГО СЛИЯНИЯ

Чарлз Чой

По мнению Джона Павелека, процесс образования метастазов начинается, когда клетки опухоли сливаются с белыми кровяными тельцами

82

ЗНАНИЕ — СИЛА НАБИРАЯ ВЫСОТУ

Марк Фишетти

Подъемные механизмы — важная часть оборудования зданий

90

ЛАБОРАТОРИЯ ВКУСА ОЛИВКИ ИЛИ МАСЛИНЫ? ОТКУДА БЕРЕТСЯ ОЛИВКОВОЕ МАСЛО

Анатолий Гендин

Родственники ли атласно-черные маслины зеленым оливкам, и если да, то как и почему приобретают свой цвет?

84

ОБЗОРЫ: КНИЖНОЕ ОБОЗРЕНИЕ

86

ФОРУМЫ, ПРЕМИИ, ВЫСТАВКИ

94

СПРОСИТЕ ЭКСПЕРТОВ

КОНТРОЛЬ НАД ВООРУЖЕНИЯМИ: приемлемый риск

США намерены ратифицировать Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ) в кратчайшие сроки

Среди кардинальных изменений, которые принес в Вашингтон президент Барак Обама, — его поддержка ДВЗЯИ. Отвергнутый Сенатом в 1999 г., договор был обречен томиться в парламентском чистилище. Еще во время предвыборной гонки Обама сказал в интервью журналу *Arms Control Today*: «Вступив в должность, я обращаюсь к Сенату с требованием ратифицировать ДВЗЯИ как можно быстрее». И мы убедительно просим президента выполнить обещание.

Договор запретил бы не только США, но и всем остальным подписавшим его странам проводить любые ядерные взрывы вне зависимости от того, каков размер устройства и в какой среде проводится испытание. Запрет коснулся бы не только существующих арсеналов, но и будущих разработок. Проблему надежности ядерного оружия мы поднимали в специальном репортаже в истекшем году (см.: *Ядерное оружие в новом мире// ВМН, № 2, 2008*). Военные специалисты в интервью штатного редактора *Scientific American* Дэвида Биелло согласились с выводами, изложенными в докладе Национальной академии наук (НАН) за 2002 г., что проверку надежности существующего арсенала можно выполнять и без проведения ядерных испытаний. И в самом деле, Национальная администрация по ядерной безопасности (НАЯБ) недавно объявила, что восьмилетняя программа по реконструкции ядерных зарядов *B61* была закончена без проведения ядерных взрывов на год раньше срока. Что касается новейшего ядерного оружия, то поскольку невозможно провести испытания надежности и боеготовности, страны — обладательницы вряд ли рискнут оснастить им свои арсеналы.

Но не окажутся ли США и другие государства, ратифицировавшие ДВЗЯИ, в уязвимой позиции перед нарушителями, решившими провести тайные испытания? Не станет ли это причиной, достаточной для того, чтобы отклонить договор? Ответ может показаться парадоксальным, но ДВЗЯИ делает мир более безопасным, в том числе и для США.

Существенный аргумент в пользу договора — система мониторинга, призванная поддерживать равно-

весие и гарантирующая разоблачение обманщиков (см. в этом номере: *Ричардс П., Ким В. Мониторинг ядерных взрывов*). Очевидно, что нет систем без изъянов. Но НАН сообщает, что как только Международная система мониторинга вступит в строй (а она уже на 2/3 готова к работе), ни одно испытание мощностью больше килотонны (в тротиловом эквиваленте) невозможно будет скрыть. Более того, испытание устройства меньшей мощности вряд ли будет представлять угрозу безопасности США, поскольку даже если, например, Китай или Россия смогут извлечь дополнительную информацию из подобных испытаний, то, по утверждению НАН, ее ценность будет незначительна. Страны же, не обладающие опытом в испытаниях ядерного оружия, с еще меньшей долей вероятности могут получить значимые данные, а также квалифицированно скрыть сам факт проведения взрыва.

Конечно, тайно проведенные ядерные испытания представляют угрозу для США. Но по сравнению с чем? Реальная альтернатива ДВЗЯИ, допускающему риск проведения испытаний малой мощности, — это мир, которым мы живем сейчас. Мир, в котором Индия, Пакистан или Северная Корея могут осуществлять те испытания ядерного оружия, которые они считают нужными, как они, собственно, и поступают. Мир, где реальную угрозу стабильности на Ближнем Востоке представляют ядерные амбиции Ирана, который подвергся бы в рамках договора гораздо более серьезным санкциям, чем на данный момент. Проведение ядерных испытаний порождает непреодолимое стремление неядерных стран также вступить в «ядерный клуб». Такое распространение военных ядерных технологий намного опаснее рисков, связанных с ратификацией ДВЗЯИ.

В докладе НАН 2002 г. изложены аналогичные выводы. Существует надежда, что из соображений безопасности вопрос о необходимости ДВЗЯИ наконец-то будет рассмотрен на высшем уровне в Вашингтоне. Председателем комитета и ведущим автором доклада НАН был Джон Холдрен (John P. Holdren), и теперь только от Барака Обамы зависит, станет ли он советником президента по науке. ■

■ ЦВЕТ СВЕТА ■ ЭЙ, НА МАРСЕ! ■ КРЫСЫ ПРОТИВ КРИЗИСА? ■

МАЙ 1959

УМНЫЙ ГЛАЗ. «Каждого исследователя цветного зрения неизбежно восхищает тончайшая различительная способность, с которой глаз реагирует на все многообразие получаемых им стимулов. Недавно мы с моими коллегами выяснили, что этот механизм даже более удивителен, чем было принято считать. Глаз способен воспринимать ошеломляюще тонкие нюансы. Строго говоря, ему даже не нужно то обилие информации, которое поступает к нему из мира повседневности. Глаз может создавать красочные миры внутри самого себя, без помощи поступающего извне информативного материала, который, кстати, достаточно тускл и бесцветен». — Эдвин Лэнд (Edwin H. Land), изобретатель, основатель компании *Polaroid*.

АНТРОПОЛОГИЯ КАРГО-КУЛЬТА. Жителям горных районов Новой Гвинеи нелегко дался быстрый переход из каменного века к эпохе мореплавания, а сейчас даже и воздухоплавания. Когда представители австралийского правительства проникли в еще более отдаленные области острова, они нашли эти заводи древности уже глубоко возмущенными контактами с идеями и артефактами европейской цивилизации. Различные товары добирались от побережья до столь глухих мест, да еще и с учетом несовершенства туземных коммуникаций, очень долго. Эти аборигены стали, наверное, последними людьми, которые пали жертвами периодически вспыхивающего то тут, то там религиозного помешательства под названием карго-культ (от англ. *cargo* — «груз»). В центре подобных культов, хоть и живописно украшаемых деталями автохтонных верований или христианства, всегда один и тот же сюжет: мир скоро погибнет вследствие ужасного катаклизма, а затем явится божество, или предки, или некий местный культурный герой и устроит райское блаженство на земле.

МАЙ 1909

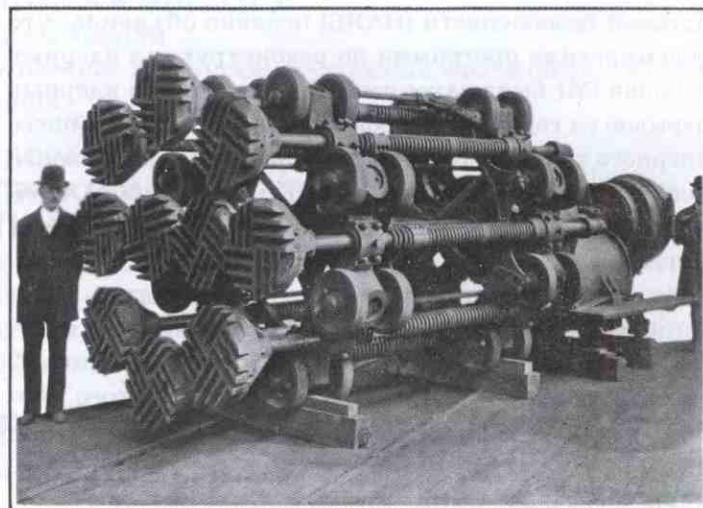
КАК ГРЫЗТЬ ГРАНИТ. Напряженные размышления о том, как прокладывать туннели в скалах и при этом покончить с бурением и опасными взрывными работами, столь же неизбывны, как попытки решить проблему бедности. С 1853 г. было выдано 69 патентов на проходческие машины. Та, что показана на фотографии, сконструирована на востоке страны и доставлена на запад. Она весит 29 тонн, и на ее огромном каркасе закреплены десять гигантских дробящих головок. Принцип работы устройства — раздробление горной породы, а не ее резание и скалывание. Заявлено, что если каждая головка

будет проникать на глубину, равную толщине бумажного листа, с каждым ударом, то машина будет проходить дюйм (2,5 см) в минуту.


СОЛНЕЧНЫЕ ЗАЙЧИКИ В КОСМОСЕ. Бурную реакцию вызвало предложение профессора Уильяма Пикеринга (William H. Pickering) разработать систему зеркал, при помощи которой можно передавать ритмичные вспышки света на Марс. Согласно словам профессора, создание системы отражающих поверхностей необходимой площади обойдется в \$10 млн. Стоит ли таких денег воплощение этой идеи? Если ответный сигнал будет получен, то можно с полной уверенностью утверждать, что по своему значению и вызванному интересу в обществе это будет самое грандиозное событие в истории Земли, и оно безусловно откроет новый этап прогресса человечества. Но даже перед лицом такой хоть и невероятно привлекательной, но чрезвычайно сомнительной возможности нам кажется, что \$10 млн можно потратить с гораздо большей пользой в любой другой области.

МАЙ 1859

ДАДИМ ОТПОР РОСКОШИ! Большой оригинал из Лискарда (Корнуолл, Англия) недавно продемонстрировал публике на самом себе одеяние, целиком состоящее из шкурок крыс, которые он собирал три с половиной года. Костюм умелец сшил своими руками; он состоял из головного убора, накидки, куртки, жилета, панталон, гетр и обуви. Для изготовления этого наряда понадобилось 670 грызунов; одетый подобным образом человек выглядит в точности как один из эскимосов, описанных Уильямом Парри (William Parry) и Джоном Россом (John Ross). ■



ПРОХОДЧЕСКАЯ МАШИНА для прокладывания туннелей в твердых скальных породах, 1909 г.

A stylized graphic of the Earth, showing continents in green and oceans in blue. The Earth is partially obscured by a large, vibrant rainbow that arches over it. The year '2009' is written in large, white, bold digits across the center of the Earth.

2009

Energy Fresh

1-й МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ. ВЫСТАВКА И КОНГРЕСС

23-24 сентября 2009 года
РОССИЯ. МОСКВА. ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»

Солнечная энергетика

Ветроэнергетика

Биотопливо

Энергосбережение

Инвестиции в строительство объектов

Инновационный потенциал и перспективы развития
возобновляемых источников энергии

Организатор:



Компания SBCD Expo
Тел./Факс +7 495 788 88 91/92
info@sbcdexpo.ru

www.planetdreaming.ru

ВИРУС В МОЗГЕ

Может ли вирус герпеса быть причиной опаснейшей раковой опухоли мозга — глиобластомы?

В последние годы исследователи все чаще указывают на вирусы как причину заболевания раком. Например, обнаружено, что вирус папилломы человека вызывает рак шейки матки, гепатит В приводит к раку печени, а вирус Эпштейна—Барр может становиться причиной лимфомы. Однако недавно ученые обнаружили, что злокачественная опухоль мозга, называемая мультиформной глиобластомой, почти всегда сочетается с цитомегаловирусом (ЦМВ) — распространенным и обычно неопасным вирусом. Несмотря на то что природа такой взаимосвязи все еще остается загадкой, исследователи уже исполь-

зуют ее для поиска новых способов лечения рака.

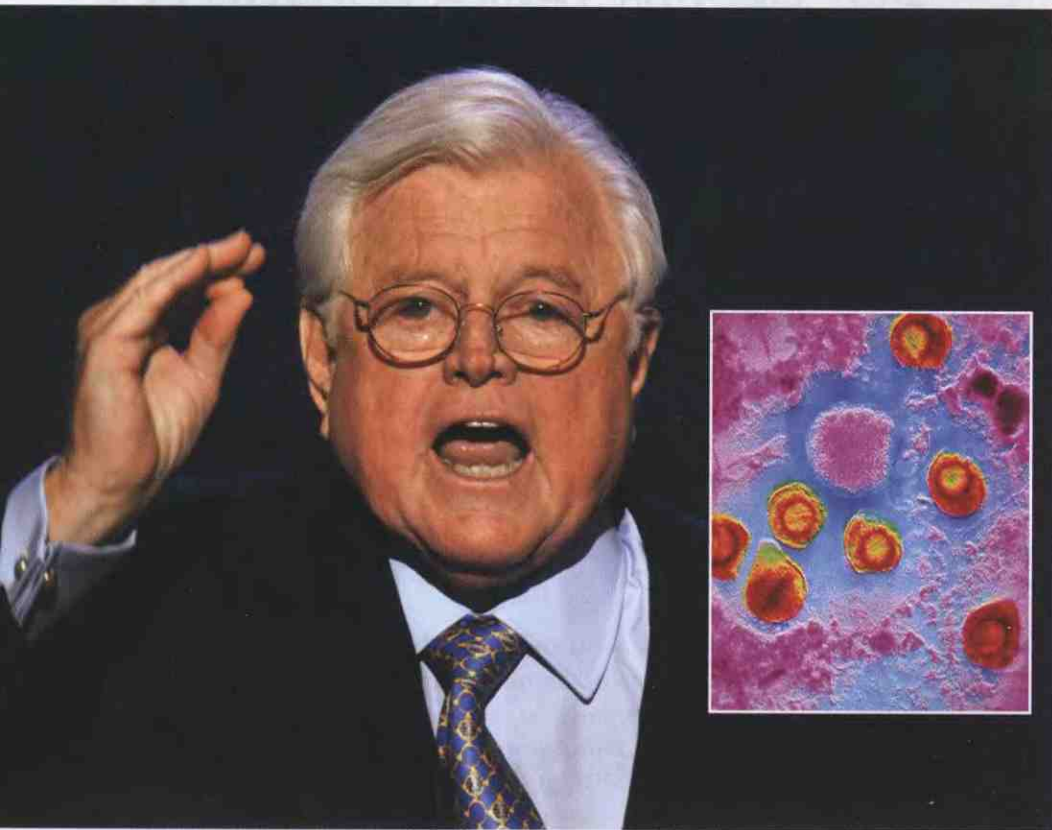
Эта история началась в конце 1990-х гг., когда Чарлз Коббс (Charles Cobbs), нейрохирург, работавший тогда в Калифорнийском университете в Сан-Франциско, задумался о связи между воспалением и раком мозга. Злокачественные опухоли часто связаны с нарушениями в работе иммунной системы, и он захотел узнать причину этого явления.

Поскольку вирусные инфекции вызывают иммунную реакцию, подозрение сразу же падает на них. Коббс со своими коллегами проанализировал образцы глиобластомы от 22 пациентов и обнаружил, что во всех них присутствовал ЦМВ. Вообще, данный вирус

обнаруживается у четырех из пяти человек и остается в их организме на всю жизнь. Обычно иммунная система держит ЦМВ в латентном состоянии, в котором он не реплицируется, однако Коббс выявил, что вирус активно размножается в опухолевых клетках — в отличие от здоровых, расположенных поблизости. «Мне показалось поразительно очевидным то, что данные опухоли и должны были быть инфицированы», — говорит ученый, открытия которого, опубликованные в 2002 г. в журнале *Cancer Research*, были в 2007 г. подтверждены нейроонкологом Дуэйном Митчеллом (Duane Mitchell) из Университета Дьюка.

Неочевидным, однако, было то, как и когда вирус попадал в эти клетки. Послужил ли ЦМВ причиной рака, или же он лишь потом начал размножаться в опухолевых клетках? «Это своего рода вопрос о курице и яйце: что было раньше, вирус или опухоль?» — указывает Митчелл. У пациентов с глиобластомой нарушена иммунная система, что могло позволить ЦМВ выйти из латентного состояния, говорит исследователь. И ЦМВ может легко обнаруживаться в клетках опухоли мозга потому, что ему легко в них проникнуть. Как показали изыскания Коббса, опубликованные в 2008 г. в *Nature*, рецепторы на поверхности клетки, ответственные за прохождение ЦМВ внутрь нее, чаще обнаруживаются на клетках опухоли мозга, чем на клетках других типов.

Коббс, работающий сейчас в Исследовательском институте Тихоокеанского медицинского центра в Сан-Франциско, уверен, что ЦМВ играет более активную роль в индукции опухолей. Он указывает на исследование, опубликованное в *Science*, в котором было показано, что ЦМВ продуцирует белки, «выключающие» гены человека, важные для предотвращения нежелательного роста клеток, — а это как раз предпосылка для развития опухоли. ЦМВ словно отключает тормоза, замечает соав-



СВЯЗЬ ВИРУСОВ И ПОЛИТИКИ: злокачественной опухоли мозга под названием мультиформная глиобластома, поразившей сенатора от Массачусетса Эдварда Кеннеди (Edward Kennedy), часто сопутствуют частицы цитомегаловируса (красно-желтые пятнышки на врезке). Некоторые исследователи подозревают, что данный патоген, относящийся к группе вирусов герпеса, становится причиной образования опухолей

тор исследования Роберт Калейта (Robert Kalejta), молекулярный вирусолог из Висконсинского университета в Мадисоне. В других исследованиях было показано, что ЦМВ может нарушать способность клетки совершать самоубийство в тех случаях, когда ее рост выходит из-под контроля. Однако никто еще не показал, что ЦМВ способен превратить здоровые клетки в раковые, замечает Калейта. Так что хотя данный вирус обладает некоторыми инструментами для индукции рака, нет никаких доказательств того, что он действительно это делает.

Хорошая новость заключается в том, что для разработки методов лечения онкологии не столь важно детальное понимание связи ЦМВ с раком, как само наличие такой связи. «Мы видим в этом вирусе уникальную возможность прицельно воздействовать на опухолевые клетки», — говорит Митчелл, занимающийся разработкой новых средств лечения рака.

Сотрудники его лаборатории «обучили» клетки иммунной системы распознавать белки ЦМВ и затем использовали эти клетки для того, чтобы идентифицировать и убивать опухолевые клетки, зараженные ЦМВ.

В настоящее время Митчелл проводит клинические испытания двух разновидностей своей вакцины, и хотя результаты еще не опубликованы, нейроонколог утверждает, что они выглядят многообещающими.

Мелинда Уэннер

КОГДА ЧИСТОТА — ЗАЛОГ РАКА

Цитомегаловирусом (ЦМВ) инфицировано около 80% населения. Так что если ЦМВ приводит к мультиформной глиобластоме, как предполагает Чарлз Коббс из Исследовательского института Тихоокеанского медицинского центра в Сан-Франциско, то почему лишь у небольшого числа людей в мозге образуются опухоли? Ученый утверждает, что такой же вопрос может быть поставлен и в отношении других известных патогенов, вызывающих рак, например вируса папилломы человека.

«По сути дела, это можно считать догмой: есть распространенная инфекция, но лишь в небольшом проценте случаев она приводит к раку». В случае глиобластомы, замечает он, большая часть пациентов были материально обеспеченными; видимо, люди, инфицированные ЦМВ, могут быть более предрасположены к образованию опухолей, если они живут в условиях хорошей гигиены.

Корни этой идеи лежат в так называемой «гигиенической гипотезе», объясняющей повышенную распространенности аллергий в развитых странах. Согласно данному предположению, контакт с патогенами в детском возрасте готовит иммунную систему к правильному функционированию; в тех же случаях, когда дети растут в «сверхчистых» условиях, созревание иммунной системы не происходит должным образом. Будучи инфицированными ЦМВ, такие люди подвергаются более высокому риску развития глиобластомы, говорит Коббс. Однако исследователь признает, что его идея основывается лишь на одной интуиции

ЛЕТАТЬ так летать

Первые находки крыльев насекомых относятся к девонскому периоду палеозоя (начался около 400 млн лет назад). Жизнь в то время бурно развивалась и осваивала новые экологические ниши. Десятки миллионов лет, до появления первых летающих позвоночных, насекомые оставались единственными хозяевами воздушной среды. Выдержав давление птерозавров, птиц и рукокрылых, они по-прежнему процветают.

Известно, что обитание в кронах тропических лесов привело к развитию способностей летать у самых неожиданных групп животных, например лягушек и змей. Недавно к ним присоединились примитивные бескрылые насекомые — щетинохвостки (*Archaeognatha*). Упав или спрыгнув с дерева, они планируют в воздухе и снова садятся на дерево.

Следует отметить, что традиционно щетинохвостками называли две группы примитивных бескрылых насекомых: собственно щетинохвосток, о которых идет речь, и так называемых чешуйниц, которые сегодня считаются самостоятельной ветвью. Одна из особенностей щетинохвосток — способность прыгать, резко изгибая и распрямляя заднюю часть тела. Среди примерно 350 современных видов щетинохвосток большинство живет на земле и между камнями. Они питаются растительными остатками, грибами и микроскопическими водорослями.

В экспериментах, проведенных в Перу, Панаме и Габоне, древесные щетинохвостки, сброшенные с высоты более 15 м в отсутствие ветра, примерно в 90% случаев приземлялись на ствол дерева. После начальной фазы падения они выравнива-

ли положение тела и переходили к более плавному пикированию, маневрируя в направлении ближайшего ствола.

Интересно, что из небольшого числа видов щетинохвосток, использованных в опытах, это поведение наблюдалось только у видов, живущих на деревьях. Исследователи также протестировали на летучесть небольшое количество чешуйниц, но не обнаружили способностей к планированию даже у того вида, который был собран на деревьях. Правда, такие чешуйницы живут под корой и, по-видимому, им реже приходится падать. С другой стороны, воздушные способности щетинохвосток могут быть связаны с их умением прыгать, отсутствующим у чешуйниц.

По мнению специалистов, планирование древесных щетинохвосток может служить наглядной иллюстрацией того, как проходили первые воздушные опыты древних насекомых.

Михаил Молчанов
(По материалам Elementy.ru)

БИТВА за биоресурсы

Ботаник Вики Фанк (Vicky Funk) из Смитсоновского института безуспешно пыталась в течение последних трех лет переправить собранные образцы листьев из Бразилии в Национальный гербарий США, чтобы провести их определение. Она говорит, что сравнение родственных растений — «основа существования систематики». Поскольку биологические ресурсы стали ценным товаром, развивающиеся страны усложнили работу по сбору и анализу биологических образцов. «При этом неважно, представляешь ты научное учреждение или фармацевтическую фирму: с тобой обращаются одинаково», — поясняет Фанк.

В 1992 г. Конвенцией ООН о биологическом разнообразии, которую подписали более 150 стран, были поставлены две взаимосвязанные задачи: сохранить биологическое разнообразие и поддержать народы тропических стран, выплачивая им компенсации за любые «генетические ресурсы», служащие основой для создания лекарственных препаратов. Но несмотря на то что эти задачи были еще раз подтверждены на конференции, состоявшейся весной прошлого года в Бонне (Германия), ученые продолжают критиковать политику, ведущуюся в рамках принятой конвенции. Суть их претензий в том, что данное международное соглашение не облегчает, а тормозит научные исследования и природоохранные мероприятия в тропических районах.

«Согласно Конвенции о биологическом разнообразии, растения и различные микроорганизмы должны считаться суверенными единицами, подлежащими санкционированным коммерческим операциям», — отмечает Джош Розенталь (Josh Rosenthal), заместитель директора Международного центра Фогарти при Национальных институтах здравоохранения. В результате «характер мирового научного сотрудничества изменился», а условия исследований стали напряженнее.

К таким выводам приходят не только западные ученые. В январе 2008 г. в журнале Академии наук Индии *Current Science* была помещена статья «Смертельный приговор таксономии», в которой критиковался индийский закон о биоразнообразии, «надевший кандалы» на отечественных специалистов, т.к. он запрещает размещать образцы в международных хранилищах. «Мы должны подчеркнуть важность того, что биологические ресурсы — общее достояние», — говорит один из авторов этой статьи Дивакаран Пратхапан (K. Divakaran Prathapan), энтомолог из Университета Кералы.

Несомненно, история злоупотреблений подтверждает причины, по которым более бедные страны имеют право ставить под вопрос научную работу, ведущуюся от лица промышленно развитых стран. Так, например, в 1995 г. США двум докторам из Университета Миссисипи был выдан патент, касающийся куркумы, хотя ее противовоспалительные свойства были описаны еще в Аюрведе много веков назад, а само растение широко применялось в индийской медицине. «Это самый оскорбительный патент, который я когда-либо видел», — возмущается Дэвид Ганг (David Gang), профессор-ботаник из Университета штата Аризона.

После шквала протестов в Индии патент был отозван. Таким образом, появились новые возможности проведения научных исследований на благо общества. Ганг говорит, что он хотел бы видеть мировой консорциум лабораторий по секвенированию (определению последовательности оснований в ДНК) геномов куркумы, работающий по примеру Международного проекта по секвенированию генома риса, который успешно завершился в 2004 г. «Но сотрудничать с кем-либо в Индии невозможно», — сокрушается он.

Направленные на предотвращение эксплуатации законы о ботанической собственности мешают раз-

вивающимся странам создать свою научную базу, как утверждает Арт Эдисон (Art Edison) из Университета штата Флорида, который занимается проектом анализа почв в перуанском заказнике: «Проблема в том, что люди так озабочены отдаленной перспективой великого открытия, что забывают о практической пользе от привлечения американских долларов в научно-исследовательских целях, например для подготовки своих студентов и организации лабораторий». Такая деятельность помогает вытеснить лесозаготовки и другие разрушительные виды природопользования.

В Перу и соседних странах самые жесткие в мире правовые нормы, запрещающие сбор и вывоз образцов флоры и фауны. Но можно отметить и некоторые положительные сдвиги. Под нажимом своих ученых бразильское правительство в прошлом году ввело систему ускоренной выдачи лицензий на сбор материалов в научных целях. Правда, заявки, касающиеся природоохранных территорий или вывоза биологических образцов, не были включены в новые правила. Некоторые западные научные учреждения, такие как Нью-Йоркский ботанический сад, объединили протоколы, оговаривающие взаимовыгодную основу сотрудничества, в том числе для принимающих сторон, что способствовало научным исследованиям и упростило взаимодействие.

Но поскольку государства продолжают следовать принятой Конвенции о биоразнообразии, «многие из них ужесточают правила и нормы», — говорит Филлис Коли (Phyllis Coley), профессор-ботаник из Университета штата Юта. Например, Панама, занимавшая одну из самых либеральных позиций по отношению к иностранным ученым, сегодня разрабатывает законы с более серьезными ограничениями. Вики Фанк заявляет, что подписание Конвенции, основной задачей которой, как предполагалось, станет усиление природоохранной деятельности, привело к неожиданным неприятным последствиям. «Мы должны сохранить жизнь на ее собственных условиях», — заключает она.

Линда Бейкер

ВТОРАЯ ЖИЗНЬ ФОТОНОВ

«Сверхъестественное взаимодействие на расстоянии», — таков знаменитый насмешливый отзыв Альберта Эйнштейна о концепции квантовой запутанности (спутанности, сцепленности), согласно которой объекты могут быть связаны между собой и мгновенно влиять друг на друга независимо от расстояния между ними. Сегодня ученые предполагают, что такое сверхъестественное взаимодействие может продолжаться даже после нарушения запутанности объектов.

В экспериментах с квантовой запутанностью — основой квантовых вычислений и квантовой криптографии — физики используют пары фотонов. Теоретически действия, производимые с одним из них, мгновенно влияют на другой, независимо от того, как далеко друг от друга они находятся. Рекорд расстояния составляет 144 км: от острова Пальма до Тенерифе (Канарские острова).

На практике запутанность — очень нестабильное состояние. Фоновые возмущения легко разрушают его, что губительно, в частности, для квантовых вычислений, поскольку они могут выполняться только до тех пор, пока запутанность сохраняется. Однако физик Сет Ллойд (Seth Lloyd) из Массачусетского технологического института выдвинул предположение, что память о запутанности может сохраняться. Он сравнил этот эффект с описанным в романе «Грозовой перевал» Эмили Бронте (Emily Bronte), когда «спектральная Кэтрин общается со своим квантовым Хитклифом подобно вспышке света из мира иного».

Прозрение пришло, когда Ллойд исследовал, что происходит при использовании запутанных друг с другом фотонов для освещения. Можно предположить, что такое освещение способно повысить качество получаемых изображений. Например, при съемке со вспышкой импульсная лампа излучает свет, а изображение формируется фотонами, отражен-

ными от объекта съемки, но фотоны, рассеянные от других объектов (шумовые), могут нарушать четкость изображения. Если бы лампа излучала запутанные фотоны, то, как предполагается, шумовые фотоны было бы легче отфильтровать, сопоставляя отраженные с парными им, которые служили бы опорными.

Однако ввиду крайней нестабильности состояния запутанности Ллойд не надеялся, что такое квантовое освещение может работать. «Я был в отчаянии, — вспоминает он, — пытаюсь получить финансирование от Агентства передовых оборонных исследований (DARPA) в рамках программы разработки датчиков для получения изображений в условиях сильных шумов». Как ни странно, когда расчеты Ллойда показали, насколько хорошо может работать такое «квантовое» освещение, выяснилось, что оно не просто работает, но для использования всех его возможностей необходимо полное разрушение запутанности.

Исследователь признает, что его вывод озадачил не только его самого. Физик Прем Кумар (Prem Kumar) из Северо-Западного университета был скептичен в отношении преимуществ квантового освещения, пока не увидел расчетов Ллойда. «Понять это стараются все, но пока вопросов больше, чем ответов, — говорит Кумар. — Если запутанность не сохраняется, но вам представляется, что вы извлекаете из нее пользу, то, возможно, теоретикам придется выяснять, действительно ли здесь играет роль запутанность, или действует какой-то иной фактор».

В качестве возможного объяснения Ллойд выдвигает предположение, что даже если технически запутанность двух фотонов будет полностью утеряна, то какой-то намек на нее может сохраняться после измерения.

Ллойд предполагает, что если квантовое облучение работает, то оно может в миллионы раз повысить

чувствительность радиолокационных и рентгеновских систем, оптической связи и микроскопии, а также привести к созданию приборов наблюдения военного назначения, которые будет весьма сложно обнаружить, поскольку они смогут работать с очень слабыми сигналами.

Предложения по практической реализации квантового облучения Ллойд и его коллеги детализировали в статье, направленной в 2008 г. для публикации в журнал *Physical Review Letters* и основанной на теоретической работе, опубликованной в журнале *Science* 12 сентября 2008 г.

Однако доказать существование данного эффекта может оказаться очень трудно. Самый простой этап — создание запутанных фотонов: для этого достаточно направить свет на кристалл — понижающий преобразователь частоты, играющий роль светоделителя. Он порождает отдельные, но запутанные лучи. Один луч используют для освещения объекта, а другой служит опорным. Отраженный и опорный лучи затем объединяют (пропуская их через светоделитель в обратном направлении). При этом для запутанных фотонов вероятность рекомбинации с образованием фотона исходной частоты оказывается более высокой, чем для прочих. Но для любого эксперимента по доказательству того, что квантовое освещение может повысить чувствительность регистрации изображений, придется использовать очень слабые сигналы. А создание материалов, способных осуществлять повышающее преобразование частоты слабых пучков с достаточной эффективностью, представляет собой невероятно сложную техническую задачу, говорит Кумар. Тем не менее Ллойд предсказывает, что экспериментальная проверка такой схемы может быть проведена уже в этом году.

Кроме повышения чувствительности при получении изображений, рассматриваемый эффект может принести пользу делу квантовых вычислений или квантовой криптографии, полагает Кумар.

Чарлз Чой

РАЗОРЕНИЕ Ирака

Какой ущерб нанесен древностям Месопотамии?

За пять с половиной лет иракской войны состояние исторических мест и памятников древности страны стало нескончаемой грустной темой бесед археологов и историков-искусствоведов. Согласно материалам двух проверок 2007 г., проведенных в мае в северном Ираке, в июне — на юге, было установлено, что нанесенный ущерб не так велик, как предполагалось ранее. Учитывая, что более 10 тыс. зарегистрированных памятных мест, как и многочисленные жилые холмы, могут хранить еще не внесенные в каталоги ценности колыбели цивилизации, многие археологи задаются вопросом, насколько результаты проверки соответствуют истинному положению вещей в масштабах страны.

В майском отчете американские и иракские ученые написали, что

«ни в одном из мест раскопок не обнаружено следов мародерства или злостного вандализма». Аналогично в июньском отчете группа иракских и британских археологов, посетившая восемь объектов в южной части страны, отметила, что свидетельства разграблений с момента начала военных действий немногочисленны.

Однако ирако-британский отчет содержит предостережения о том, что «трудно (и неосторожно) делать какие-либо обобщения», исходя из условий тех мест, которые посетила группа ученых. Как на севере, так и на юге исторические памятники хорошо охранялись. По словам Лоуренса Ротфилда (Lawrence Rothfield) из Чикагского университета, три из семи пунктов на севере, Хатра, Нимруд и Ниневия, «находились под охраной с момента разграбления, пос-

ледовавшего вслед за вторжением 2003 г.». Та же ситуация наблюдалась в трех из восьми пунктов на юге — Лагаше, Уре и Уруке.

Охрана — редкое явление для большинства исторических мест Ирака. Представитель ирако-британской группы Элизабет Стоун (Elizabeth C. Stone) из Университета Стони Брук рассказывает, как они обнаружили ее отсутствие в Ларсе, еще одном достопримечательном месте на юге, включенном в список обследованных: «вероятно, этот пункт изредка посещался, но выглядел так, как будто здесь никто не бывал: на сторожевой башне мы нашли гнездо хищной птицы, где сидел вполне жизнерадостный птенец». Как объясняет Стоун, проблема, в частности, состоит в том, что исторические места должны патрулировать 1,5 тыс. иракских охранников на грузовом транспорте, однако обеспечение горючим не заложено ни в одну финансовую смету.

«Не было проведено ни одной тщательной проверки, достоверно устанавливающей процент разграбленных памятников старины от 10 тыс. зарегистрированных», — говорит Ротфилд. Изображения, полученные с военных спутников, по его мнению, «помогли бы прояснить реальную картину, но военные не желают ни с кем делиться информацией».

Таким образом, ученые и наблюдатели в своих оценках вынуждены опираться на данные коммерческих источников, показания очевидцев и факты, вскрытые полицией и таможенниками. Стоун сама купила космические снимки за \$150 тыс., чтобы отыскать следы грабежей, о которых было известно по слухам. С их помощью она заполнила на карте разграбленных территорий пробелы, общая площадь которых составила 15,75 кв. км — более четверти площади Манхэттена. Большинство приобретенных снимков, однако, датированы 2003 г., более новые данные обрывочны, и к тому же дороги.

Элизабет Стоун отмечает, что есть и хорошая новость: торговое эмбарго и угроза жестких право-



ВОЗВРАЩЕНИЕ К ПУСТЫНЕ? В июне 2007 г. иракские и британские инспекторы посетили разрушенные и разграбленные раскопки дома в Талль-Абу-Шахрейне (Эриду) на юге Ирака. Эриду значится в шумерских литературных источниках как один из древнейших городов Месопотамии

вых санкций, кажется, вынудили свернуть рынок украденных артефактов, т.е. искоренили основную побудительную причину грабежей. Торговля такими объектами, как глиняные таблички с надписями и круглые печати, была резко приостановлена в 2003 г. в ответ на реакцию международного сообщества на разграбление Иракского национального музея в Багдаде, когда были введены строгие законы против покупки и продажи предметов древней культуры Ирака.

Урон древнему наследию Ирака был нанесен не только по вине мародеров. Согласно ирако-британскому отчету, на возвышениях в двух

исторических местах были установлены военные командные посты (Талль-эль-Лам и Убейд). Укрытия для военных транспортных средств (танков и бронетранспортеров) были врыты непосредственно в древние холмы. Сооружения, как полагают составители отчета, внедрились в ранее нетронутые археологические пласты. Стоун отмечает, что в Вавилоне военные уничтожили культурный слой на площади в 6 га, что превышает размер 13 футбольных полей, наполняя мешки песком, роя траншеи и разравнивая бульдозером землю для парковок.

По мнению иракского искусствоведа из Колумбийского университе-

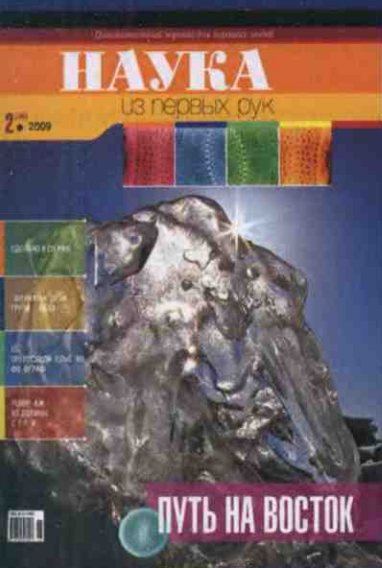
та Зайнаб Бахрани (Zainab Bahrani), невозможно провести никакой серьезной оценки ущерба до вывода оккупационных войск. Тем не менее Бахрани уверена, что разграбление Иракского национального музея и исторических мест — только вершина айсберга, всего лишь часть крупномасштабных разрушений, нанесенных историческим и культурным ценностям — архивам, библиотекам, университетам, а также научному сообществу. Она поясняет: «Многие люди погибли, лишись крова и стали беженцами, поэтому мне трудно сосредоточиться только на культурном наследии».

Питер Браун

Научно-популярный журнал

«НАУКА из первых рук» — познавательный журнал для хороших людей!

Выходит 6 раз в год



Приобрести журнал можно в редакции:

zakaz@infolio-press.ru

Адрес редакции:

630055, г. Новосибирск, ул. Мусы Джалиля, 15

Тел. +7 (383) 332 15 40, 332 14 47, 332 14 48

www.sciencefirsthand.ru, www.sibsciencenews.org

Оформить подписку можно по каталогам «Роспечати» (индексы 46495, 46498)

Читайте в журнале

«НАУКА из первых рук» № 2 (26), 2009 г.

ЦУНАМИ НА ЭКРАНЕ

Разработанный новосибирскими учеными аналог широко известной геоинформационной системы *Google Earth* превосходит ее по ряду параметров

МОЛЕКУЛЫ: ДЕЛИМ, ГРУЗИМ, ВОЗИМ

В поры металлоорганического полимера как в ловчую сеть, попадают молекулы только определенного размера и формы

АРАЛ СУДОХОДНЫЙ И СУХОПУТНЫЙ

Развалины мавзолеев, сломанный жернов, керамические черепки — свидетельство того, что в средние века на дне Арала жили люди

ЛЕГЕНДАРНОЕ НИЛЬДИНСКОЕ БЛЮДО

По преданию ненцев, смерть унесла всех, кто пытался хранить выловленную из реки серебряную «тарелку с изображениями богов»

ЕЕ ПРЕВОСХОДИТЕЛЬСТВО ФОТОГРАФ

Жена семипалатинского губернатора — одна из первых русских женщин-фотолюбителей увековечила на своих снимках «виды» и «тины» Сибири XIX в.

РЕПОРТАЖ ИЗ ДОЛИНЫ СМЕРТИ

В Долине Смерти чувствуют себя комфортно лишь бактерии, использующие ядовитый вулканический газ в качестве субстрата

НОМЕР УЖЕ В ПРОДАЖЕ

СТОЛКНОВЕНИЕ ФИЛОСОФИЙ

Новаторский способ выискивать частицы в осколках столкновений

После фальстарта в 2008 г. Большой адронный коллайдер (БАК), новый ускоритель ядерных частиц в Европейской лаборатории физики элементарных частиц (CERN) недалеко от Женевы, наконец-то должен начать свои эксперименты в этом октябре. На БАКе, возможно, смогут — а возможно, и нет — получить темную материю, мини-черные дыры и другую экзотику. Но интерпретация того, что происходит, в любом случае будет чрезвычайно сложной задачей. Экспериментальный подход к анализу данных мог бы помочь физикам удостовериться, что они не пропускают ни одного положительного срабатывания аппаратуры.

В БАКе, как и в других ускорителях, например в Теватроне в Национальной ускорительной лаборато-

рии им. Ферми (Фермилабе) в Батавии, Иллинойс, протоны или другие частицы разгоняются до скорости, близкой к скорости света, и сталкиваются друг с другом. Согласно знаменитому эйнштейновскому $E = mc^2$, часть энергии столкновения затрачивается на образование редких, тяжелых частиц, которые практически моментально распадаются на сотни более привычных, множество типов которых уже известно. Огромные датчики БАКа, регистрируя траектории этих осколков, производят данные ошеломляющими темпами, эквивалентными одному компакт-диску в секунду.

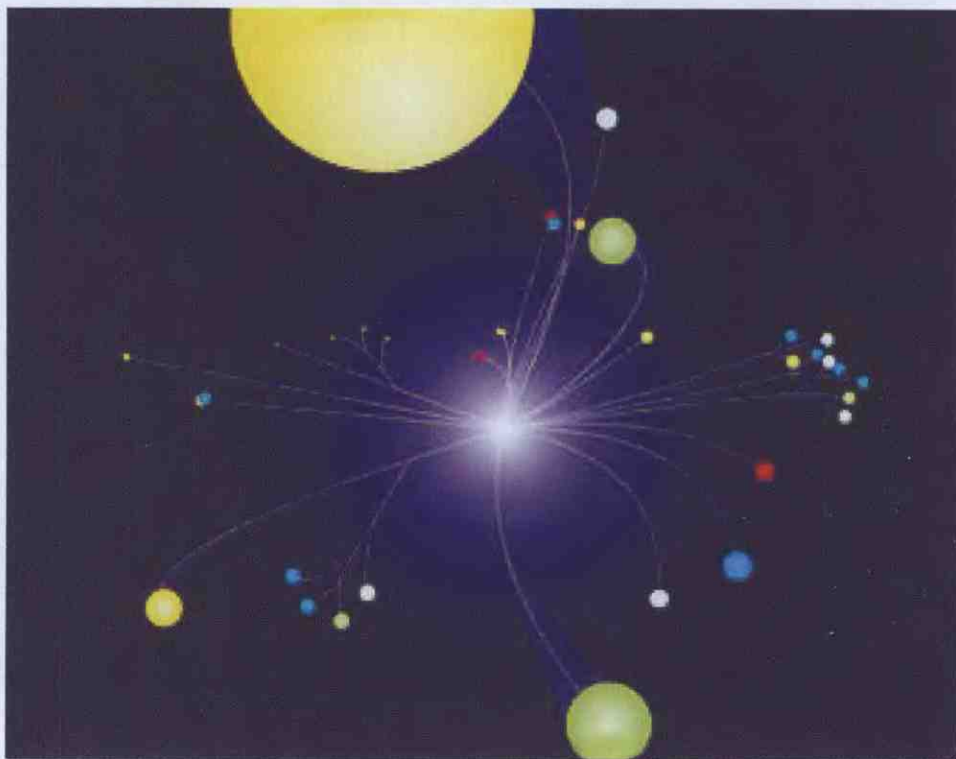
Физики будут пробираться сквозь эти информационные дебри в поисках специфических комбинаций продуктов распада, которые позволили бы предположить рождение

новой частицы. Они намерены искать признаки долгожданного бозона Хиггса, который, по современным представлениям, дает другим частицам их массы, а также следы совершенно новых частиц, которые, возможно, позволят составить первое представление о законах физики высочайших энергий.

Существуют, однако, опасения, что традиционный подход, похожий на действие компьютерного алгоритма, ищущего в тексте буквы «х», «и», «г» и «с», может привести к тому, что интересные и не ожидаемые никем сигнатуры будут проигнорированы. Брюс Кнутсон (Bruce Knuteson) и Стивен Мренна (Stephen Mrenna) из Фермилаба в течение нескольких лет отстаивают «холистический» подход, названный глобальным поиском. Они написали программное обеспечение, которое вместо поисков определенных сигнатур анализирует все данные и сравнивает их с предсказаниями так называемой Стандартной модели — известного набора законов физики элементарных частиц. Это программное обеспечение отмечает любые отклонения от Стандартной модели как потенциальные новые частицы, т.е. принцип его работы представляет собой что-то вроде алгоритма, который вместо поисков в тексте каждого конкретного слова прогоняет каждое слово через словарь и отмечает лишь те, что выглядят как принадлежащие иностранному языку.

Для ограничения ложных срабатываний — иногда взаимодействие обычных частиц может имитировать поведение других, более интересных, — физики могут установить минимальный порог повторений «странного» события, прежде чем экспериментаторы будут поставлены в известность о «возможно новом». «Мы принимаем во внимание факт, что смотрим во все стороны сразу», — говорит Кнутсон.

Кнутсон, Мренна и их сотрудники использовали свой метод для обработки старых данных с Теватрона. Ведь в принципе экзотические частицы могли скрываться там, где



В ТОЧКЕ СТОЛКНОВЕНИЯ в ускорительных экспериментах рождаются новые частицы. Передовая техника позволяет выявить среди них даже теоретически не предсказанные, «неожиданные»

никто даже не искал. Коллектив не нашел ничего статистически релевантного и не объявил о новых открытиях. Но по крайней мере это исследование показало, что глобальный поиск не обязательно приводит к множеству ложных срабатываний, чего опасались некоторые физики. Результаты, опубликованные в январском *Physical Review D*, также составляют, по мнению Кнутсона (ныне оставившего активные исследования), самый строгий тест Стандартной модели на текущий момент.

Льюис Лайонс (Louis Lyons) из Оксфордского университета считает, что статистика команды исчерпывающая. Но Пекка Синерво (Pekka Sinervo) из Университета Торонто, который принимает участие в экспериментах и на Теватроне, и на БАКе, по-прежнему сохраняет скептицизм. «Авторам пришлось отбро-

сить множество недостаточно понятных "подковерных" эффектов и не обращаться к ним непосредственно», — констатирует Синерво, подразумевая, что при поиске было обнаружено большое количество трудно интерпретируемых сигналов. В то же время ученый соглашается с тем, что глобальный поиск может иметь некоторое значение, пока не отвлекает исследователей от изысканий, сосредоточенных на специфических явлениях. «Я не уверен, что можно использовать такой поиск для раннего оповещения об открытиях на БАКе», — также добавляет он.

Саша Кэрон (Sascha Caron), физик из Университета Фрайбурга, Германия, разделяет эту позицию, несмотря на то что большая часть сообщества физиков, занимающихся элементарными частицами, была

воодушевлена идеей глобального поиска в начале этого десятилетия, когда Кнутсон впервые высказал ее. Кэрон и его сотрудники разработали свое собственное программное обеспечение для того, что они называют «общим поиском», работая над экспериментом в лаборатории DESY в Гамбурге, и планируют сделать то же самое на БАКе.

Опыт работы на Теватроне также показывает, что глобальный поиск может помочь физикам понять, как интерпретировать данные, например как датчики реагируют на различные частицы, указывает Мрена. Команды редко сравнивают точки зрения, так что их предположения потенциально противоречивы. «Если вы проверяете все, то все должно иметь смысл», — говорит исследователь.

Давид Кастельвекки

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

КАЛЕНДАРЬ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ НА МАЙ 2009 г.

14-15 мая
2009 года
(чт-пт)

Первая научно-практическая конференция
«ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ МОЛОДЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. РЫНОК ТРУДА И НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ. ПОСЛЕДСТВИЯ МИРОВОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО КРИЗИСА»

Первый всероссийский форум молодых ученых АПК
«МОЛОДЫЕ УЧЕНЫЕ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ. НОВЫЕ ИНИЦИАТИВЫ И ОПЫТ АПК»

Совещание-семинар
«ПЕРЕХОД НА ДВУХУРОВНЕВУЮ СТРУКТУРУ ВПО ДЛЯ СФЕРЫ ПРОИЗВОДСТВА ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ – МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ» Ярмарка вакансий

27-28 мая
2009 года
(ср-чт)

Первая научно-техническая конференция с международным участием
«РОЛЬ РОССИЙСКИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИННОВАЦИЙ В ПРАКТИКЕ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРАН БЛИЖНЕГО ЗАРУБЕЖЬЯ. ЗНАЧЕНИЕ РУССКОГО ЯЗЫКА»

Информационная поддержка:

Официальная поддержка:

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ
АССОЦИАЦИЯ МОСКОВСКИХ ВУЗОВ



Аналитический информационный центр «МГУПП-Медиа»

125080, Россия, г. Москва, ул. Врубеля, д. 12, В-9-7

www.mgupp.ru

media@mgupp.ru (499) 158-70-22
mgupp-media@mail.ru (499) 158-72-35

ПРОДУМАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДОДУМАЛИСЬ до гравитации

17 марта текущего года в отделении трансфузиологии и гравитационной хирургии крови Российской детской клинической больницы (РДКБ) состоялась презентация *ErySep* — новой разработки немецкой компании *LMB*, работающей в сфере продуманных технологий для банка крови.

Система была представлена специалистом в области трансфузиологической медицины доктором Райнхардом Штуте (*Reinhard Stute*), а также сотрудниками компании. На презентации присутствовали российские ученые, в частности, главный трансфузиолог Пироговского центра, профессор кафедры трансфузиологии и проблем переливания крови Института усовершенствования врачей, доктор медицинских наук Е.Б. Жибурт, заведующий отделением переливания крови РДКБ М.В. Захаров и многие другие.

В системе *ErySep* реализован абсолютно стерильный способ разделения крови на фракции: плазму и красные кровяные тельца (эритроциты). Для этого необходима только сила гравитации, что принципиально для медицины нового уровня. *ErySep* включает в себя несколько пакетиков, предназначенных для донорской крови, эритроцитов и плазмы, лейкоцитарного фильтра, капельницы и волоконного фильтра. Каждый элемент системы с обеих сторон оснащен клеммами.

Весь процесс сепарации занимает около 120 мин. 450 мл донорской крови поступают в полость, где смешиваются с раствором цитрата натрия, который не позволяет крови свертываться.

Чтобы максимально инактивировать факторы коагуляции (свертываемости крови), кровь охлаждают до 20°. Охлаждение осуществляется на специальной пластине: пакетик с кровью переворачивают каждые пять минут и контролируют весь процесс с помощью термометра.

После того как кровь охладилась до нужной температуры, вся система подвешивается так, чтобы пакет с донорской кровью располагался на самом верху, а вся остальная конструкция свободно висела. Изначально клеммы, которые находятся между элементами системы, закрыты. Как только пакет подвешен, клапаны открываются, и тогда для сепарирования крови появляются две возможности. Можно пропустить ее через лейкоцитарный фильтр, к стенкам которого прилипают тромбоциты и лейкоциты, а можно использовать обходной путь, если, например, необходимо, чтобы остались тромбоциты. Направление регулируется клеммами.

После того как кровь прошла через лейкоцитарный фильтр, она поступает в капельницу, темп которой регулируется до 60 капель в минуту, а затем в волоконный фильтр. Мембрана таких фильтров представляет собой слой, содержащий до 600 капилляров различного диаметра, где, собственно, и происходит разделение крови на плазму и эритроциты. С одной стороны от волоконного фильтра красные тельца поступают в пакет с нейтральным раствором, а с другой стороны через поры отделяется плазма.

Новый метод сепарирования существенно отличается от старого тем, что первая порция донорской крови поступает в маленький мешочек, а не в большую емкость. Мешочек оснащен портом, через который вакуумным способом можно взять кровь на анализ (определить группу крови, выявить наличие инфекции и провести другие исследования). Это сделано для того, чтобы бактерии с того кусочка кожи, который попал в просвет иглы, не поступили в основную емкость с кровью и, соответственно, не размножились там в процессе ее хранения. Как заметил Е.Б. Жибурт, именно предварительный набор крови в сис-

теме *ErySep* принципиален в этой технологии, т.к. самая серьезная проблема во всем мире — посттрансфузионный сепсис. В России такой маленький мешочек не используется, следовательно, и риск заражения такими болезнями, как ВИЧ и гепатит, значительно выше. По мнению доктора Штуте, использование нового метода снижает вероятность бактериального заражения до 1:2000–5000.

В отличие от сепарирования крови в центрифугах — метода, который сейчас наиболее распространен, в частности, в России, — *ErySep* свободна от использования какого-либо вида энергии и влияния человеческого фактора. При центрифугировании же требуются затраты электроэнергии и человеческих усилий, т.к. кровь потом надо поместить в плазмозекстрактор, где происходит разделение на красные тельца и плазму, и все равно иногда плазма смешивается с эритроцитами. Новый метод позволяет полностью обходить эти недостатки.

Таким образом, простота системы *ErySep* позволяет в бытовых условиях стерильно получить емкости с плазмой и эритроцитами. Все ее материалы безопасны: используемые мембраны уже в течение 40 лет применяются в медицине. И хотя *ErySep* была создана девять лет назад, точная цена ее неизвестна. Однако она не будет превышать стоимость обычных методов центрифугирования.

Сегодня система *ErySep* уже используется в Португалии, Германии, Турции, Тунисе, Греции, Болгарии, идет регистрация во Франции. Кстати, место проведения презентации в России было выбрано не случайно: ведь именно в РДКБ больше всего в стране переливают кровь детям. Будем надеяться, что вскоре и в России будет зарегистрирована система, аналогов которой в мире пока нет.

Анна Кадырова

РАСШИФРОВАТЬ мамонта

Спустя тысячи лет после того, как шерстистые мамонты исчезли с лица Земли, генетики секвенировали 50% их генома. Предпринимавшиеся ранее попытки определить нуклеотидную последовательность ДНК символа последнего ледникового периода закончились расшифровкой лишь крошечных ее участков. Работа, о которой пойдет речь, впервые продемонстрировала реальность воссоздания генетического материала давно исчезнувших животных. Успех не только пролил свет на историю эволюции мамонтов, но и стал важным шагом к реализации заветной мечты палеонтологов — «воскрешению» доисторических живых существ.

Группа ученых из Университета штата Пенсильвания, возглавляемая Уэббом Миллером (Webb Miller) и Стефаном Шустером (Stephan C. Schuster), выделила ДНК из шерсти двух мамонтов, найденных в Сибири, и секвенировала ее. В статье, опубликованной в журнале *Nature* от 20 ноября 2008 г., сообщается, что идентифицировано 3 млрд пар оснований ДНК. Это настоящий технологический прорыв — ведь все, чего удавалось достичь ранее при наличии даже большего количества материала, не превышало 13 млн пар оснований, что соответствует 1% генома.

Идентификация сегментов нуклеотидной последовательности ДНК шерстистого мамонта находится на начальной стадии, но уже сейчас получены результаты, опровергающие устоявшиеся представления о прошлом хоботных. Считалось, что шерстистые мамонты были последними представителями в череде разных видов этих гигантов, и что каждый из видов исчезал в определенное время, отличное от времени исчезновения других. Анализ ядерной ДНК двух найденных мамонтов показал, что это были совершенно разные животные, по-видимому, относившиеся к популяциям, которые

дивергировали от 1,5 до 2 млн лет назад. Данное открытие согласуется с результатами проведенного недавно анализа короткого сегмента митохондриальной ДНК, согласно которым на Земле сосуществовали сразу несколько видов мамонтов.

Пока ученые располагают лишь разрозненными сегментами генома мамонтов, которые нужно как-то соотнести друг с другом. Они возлагают большие надежды на расшифровку генома африканского слона, приходящегося «кузенном» шерстистому мамонту. Эта информация послужит руководством при реконструкции генома исчезнувшего «родственника».

Возможно, наступит день, когда генетики, располагая нуклеотидной последовательностью геномной ДНК мамонтов и их ближайших ныне живущих родственников, вернут давно исчезнувших животных из небытия. «Еще год назад я с уверенностью отнес бы такие рассуждения к области научной фантастики, — говорит Шустер. — Но теперь, когда получены обнадеживающие результаты, стоит посмотреть на это по-другому». Может быть, ДНК яйцеклетки африканского слона удастся модифицировать таким образом, что она станет сходна с ДНК мамонта. По предварительным оценкам, чтобы развиться из такой яйцеклетки животное как можно больше походило на мамонта, необходимо внести в ДНК яйцеклетки слона 400 тыс. изменений. А для получения точной копии — несколько миллионов.

(Результаты недавних опытов по созданию клонов на основе генетического материала замороженных мышей к ситуации с мамонтами отношения не имеют — так считает Шустер. Грызуны — мелкие животные, их замораживание — недолговременный процесс, а для промерзания туши мамонта нужно было несколько суток. За это время в ДНК животного могли произойти многочисленные поломки.)



ШЕРСТИСТЫЙ МАМОНТ и многие другие крупные животные исчезли с лица Земли 10 тыс. лет назад. Причины этой катастрофы до сих пор не установлены

В ближайшей перспективе биологи надеются разгадать тайну адаптации шерстистых мамонтов к суровым климатическим условиям и выяснить, по каким причинам они вымерли. По мнению Миллера, анализ геномов мамонтов, населявших Землю в разные периоды времени, позволит проследить, как уменьшалось их генетическое разнообразие по мере вымирания разных видов. Исследуя причины исчезновения мамонтов и других животных, можно получить сведения, полезные для представителей современной фауны, находящихся под угрозой исчезновения. Так, группа ученых, которая сейчас секвенирует ДНК тилачина (сумчатого волка, обитающего в Австралии), исчезнувшего в результате эпидемии, намереваются провести сравнительный анализ полученных данных с результатами секвенирования близкого родственника животного, тасманийского дьявола, численность которого катастрофически уменьшается в связи с широкой распространенностью в его популяции рака морды.

«Мы хотим выяснить, почему одни виды животных вымирают, а другие нет, и использовать эти данные для сохранения биоразнообразия», — говорит Миллер. Возможно, основная цель генетических исследований вымерших животных — сохранить жизнь, а не победить смерть.

Кейт Вонг

теория СМЕРТЕЛЬНОГО СЛИЯНИЯ

По мнению Джона Павелека (John Pawelek), процесс образования метастазов начинается, когда клетки опухоли сливаются с белыми кровяными тельцами. Если эта идея окажется верной, то человечество может получить целый ряд новых методов лечения рака

В феврале 1993 г. в Йельском университете произошло знаменательное событие. Джон Павелек, биолог, занимающийся изучением рака, взял в руки журнал, посвященный этой проблеме, и вместо того чтобы просто просмотреть свою статью, прочел его полностью. Это простое решение кардинально

изменило направление его дальнейших исследований.

В номере было опубликовано письмо чешского врача с вопросом, может ли слияние опухолевых клеток и белых кровяных телец стать причиной метастазирования. В то время Павелек как раз читал книгу эволюционного биоло-

га Линн Маргулис (Lynn Margulis), которая первой высказала идею, что жизнь на Земле пережила революцию, когда одни древние микроорганизмы поглотили клетки других, но не переварили, а слились в единое целое и образовали новую, более прогрессивную форму жизни, имевшую больше шансов на выживание. «Меня вдохновило это совпадение — говорит он. — Если в процессе эволюции случай гибридации клеток уже имел место, почему бы этому не быть и в случае рака?»

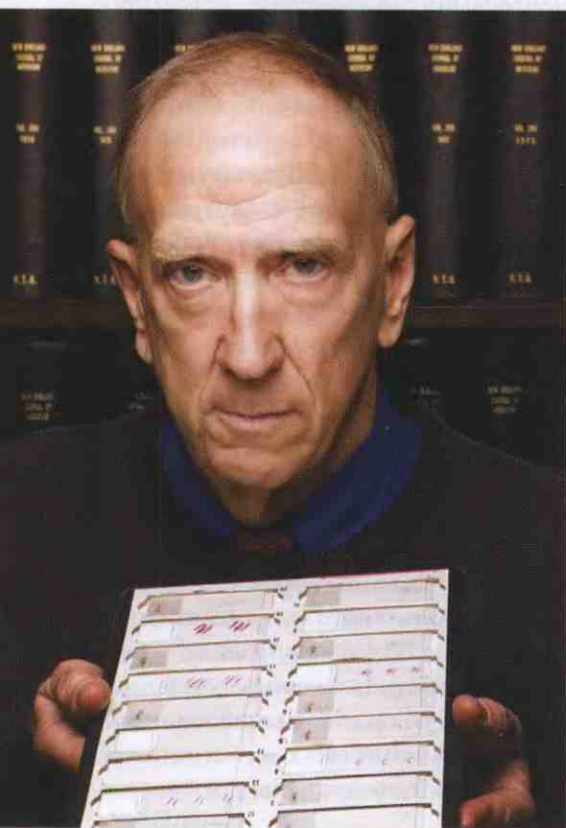
С тех пор прошло 15 лет. За это время Павелек и его коллеги показали, что раковые клетки у экспериментальных животных могут поглощаться белыми клетками крови и становиться высокометастатическими. Теперь лаборатория ищет свидетельства протекания аналогичных процессов у человека.

Современной науке известно достаточно мало. Почему метастазирующие клетки могут отделяться от породивших их опухолей, мигрировать сквозь ткани, путешествовать по всему организму, перемещаясь по кровеносным или лимфатическим сосудам, поражать другие ткани и быстро расти? Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо понять,

ДЖОН ПАВЕЛЕК

■ СИЛА СЛИЯНИЯ: предполагается, что опухоли начинают распространяться или давать метастазы после слияния раковых клеток с белыми кровяными тельцами. На фотографии исследователь держит в руках образцы злокачественной меланомы, которые он будет анализировать на предмет подобного слияния.

■ СМЕРТЕЛЬНОЕ РАСПРОСТРАНЕНИЕ: Американское общество по борьбе с раком ожидает 1,4 млн новых случаев заболевания раком в США в 2008 г. (и около 12 млн — по всей планете). Для рака молочной железы процент выживания в течение пяти лет после операции достигает 98%, если опухоль удалена до начала метастазирования, и лишь 26,7% — в случае образования метастазов; для рака простаты эти цифры равны 100% и 31,9% соответственно.

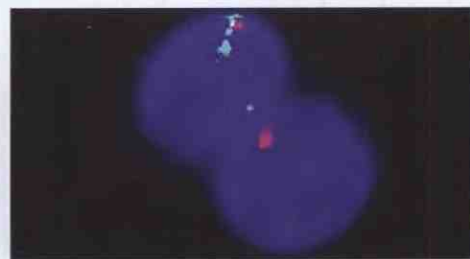
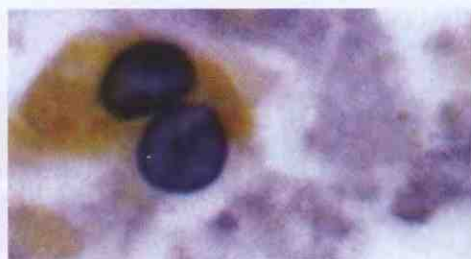


как клетки взаимодействуют друг с другом.

Одна из теорий, объясняющих происхождение метастазов, основана на идее о мутации одного или нескольких генов, вызывающих у клеток опухоли повышение способности к миграции. Другое объяснение не требует существования специфических мутаций — со временем раковые клетки часто накапливают ненормальное число хромосом, что может разрушать связи, удерживающие любую нормальную клетку от метастазирования. С точки зрения Павелека, ни одна из теорий не объясняет, как раковые клетки получают нужные генетические изменения, становящиеся необходимым условием для успешного распространения болезни.

Павелек предлагает теорию, утверждающую, что раковые клетки начинают распространяться после того, как сольются с белыми кровяными клетками, макрофагами. Как и клетки метастазов, макрофаги могут странствовать по всему телу и проникать повсюду, одновременно будучи устойчивыми к большей части токсичных препаратов. Более того, макрофаги регулярно заглатывают бактериальные и больные клетки, из чего следует, что они могут поглощать клетки опухоли и иногда сливаться с ними, как и произошло с древними клетками, слившимися вместе в симбиотический организм миллиард лет назад.

В своих первых экспериментах Павелек и его коллеги взяли культуру клеток меланомы мыши, которая слабо метастазирует, и соединили с макрофагами мыши. Затем они вживили гибридные клетки пяти тысячам грызунов. По словам исследователя, результат оказался ошеломляющим: около 55% гибридных клеток обладали очень высокой метастатической активностью. Животным контрольной группы подсаживали клетки меланомы, которые слились друг с другом, но такие гибриды метастазов не давали. Результаты убедили ученого, что он на верном пути. Павелек с коллегами



Метастатическое слияние? После трансплантации костного мозга от ее сына у женщины были обнаружены раковые клетки в почке (синяя клетка на фотографии слева). На флуоресцентном изображении этих клеток (справа) видны Y-хромосомы (красного цвета), указывающие, что карцинома могла быть результатом гибридизации раковых клеток пациентки с клетками костного мозга ее сына

также обнаружили, что метастазирующие клетки имеют сходство с макрофагами и на молекулярном уровне: например, в обоих случаях активированы гены, отвечающие за перемещение клеток. Помимо того исследователи выяснили, что подобные раковые клетки предположительно продуцируют органеллы, называемые аутофагосомами, с помощью которых они могут переваривать фрагменты самих себя. Макрофаги часто производят аутофагосомы для того, чтобы питаться своим телом, пока они путешествуют. Выходит, что клетки метастазов могут делать то же самое.

Павелек верит, что подтверждение его теории — вопрос времени и задача врачей-онкологов, пациенты которых получают трансплантаты костного мозга. Радиационная и химиотерапия убивают костный мозг, который поддерживает нужное организму число белых кровяных клеток. Донорский костный мозг генетически отличен от костного мозга пациента, благодаря чему становится возможным увидеть, сливаются ли раковые клетки хозяина с макрофагами донора. Лаборатория Павелека уже обнаружила два прецедента, которые, возможно, подтверждают эту теорию. В одном из случаев мальчик с группой крови 0 (I) получил трансплантат от брата с группой крови A (II). Когда в итоге у пациента нашли метастаз в почке, в опухоли были обнаружены клетки с группой крови A. Во втором случае женщи-

на получила трансплантат костного мозга от своего сына, и позже у нее в почках обнаружили метастазы, содержащие клетки с мужской Y-хромосомой. Однако в обоих случаях исследователи не смогли подтвердить наличие в этих клетках генома реципиента. Таким образом, остается вероятность, что данные клетки были не гибридными, а целиком донорскими. С последующими образцами Павелек надеется провести анализ по технологии определения ДНК, обычно используемой в судебной практике, что позволит распознать гены обоих типов, и донора, и реципиента, если они будут присутствовать в одной клетке.

Если Павелек прав во всем, то ученые получат новые способы борьбы с раком. Одним из таких направлений может стать разработка лекарств, основанных на антителах, которые атакуют гибридные клетки, если те имеют уникальные химические метки. Еще один способ — создать метод, который позволит заблокировать слияние клеток на молекулярном уровне.

В настоящее время работа Павелека вдохновляет других, и в октябре 2007 г. 75 ученых из разных лабораторий собрались вместе на прошедшей в Швеции первой конференции, посвященной раку и теории клеточного слияния, где американский исследователь был основным докладчиком.

Перевод: Т.А. Митина

Дэвид Алберт и Ривка Галчен

Квантовая механика

Запутанность¹, как многие квантовые эффекты, противоречит некоторым из наших глубочайших интуитивных представлений о мире. Она может «взорвать» специальную теорию относительности Эйнштейна

Наша интуиция, исходящая из всего прошлого опыта, говорит нам, что если, например, требуется переместить камень, то нужно его непосредственно коснуться, или взять палку, которой его можно сдвинуть, или дать команду, которая посредством колебаний воздуха достигнет уха человека с палкой, способного толкнуть этот камень или выполнить еще какое-нибудь действие подобного рода. Сформулируем обобщенно: интуиция подсказывает нам, что одни предметы могут непосредственно воздействовать на другие, только находясь с ними рядом. Если предмет *A* воздействует на предмет *B*, не находясь рядом с ним, то воздействие должно быть непрямым — через цепь переносчиков, каждый из которых влияет на последующий непосредственно, так что в итоге непрерывно перекрывается расстояние между *A* и *B*. Может показаться, что мы постоянно сталкиваемся с исключениями из этого правила. Например, щелкнув переключателем, можно вклю-

чить уличные фонари (но мы знаем, что это воздействие передается по проводам), или послушать радиопередачу из студии, находящейся за сотни километров от приемника (а в этом случае мы понимаем, что сигнал передан радиоволнами, распространяющимися в пространстве). И все это оказывается вовсе не исключениями, а подтверждениями правила, о чем говорит повседневный опыт всей нашей жизни.

Мы выражаем это интуитивное представление понятием «локальность действия».

Квантовая механика опровергла многие наши интуитивные представления, но ни одно из опровержений не было таким фундаментальным, как связанное с локальностью. И пока противоречие не разрешено, оно таит угрозу специальной теории относительности — краеугольному камню физики XXI в.

Факты окружающего мира

Вернемся немного назад. Когда квантовой механики еще не сущест-

вовало, а по большому счету еще с самого начала научного исследования природы ученые были уверены, что полное описание физического мира в принципе можно получить, описывая одну за другой каждую из мельчайших и наиболее элементарных его физических составляющих, — т.е., что полное описание мира есть сумма описаний всех его составляющих.

Квантовая механика разрушила эту уверенность.

Реальные, поддающиеся измерению физические свойства ансамбля частиц могут вполне конкретным образом превосходить сумму свойств составляющих его частиц, отличаться от нее или даже не иметь с ней ничего общего. Так, согласно квантовой механике, можно добиться того, чтобы две частицы находились точно на расстоянии двух футов одна от другой, но при этом ни одна из них не имела точно определенного положения. Более того, общепринятый подход к истолкованию законов квантовой механики (так называемая копенгагенская интерпретация, выдвинутая великим датским физиком Нильсом Бором в начале XX в. и преподававшаяся поколениям студентов) утверждает: дело не в том, что мы не знаем каких-то сведений о точных координатах отдельных частиц, а в том, что этих сведений вообще не существует. Вопрос о координатах отдельной частицы

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- В нашем восприятии Вселенной мы можем непосредственно воздействовать только на те предметы, к которым можем прикоснуться; мир представляется нам локальным.
- Однако квантовая механика предусматривает возможность непосредственного взаимодействия на расстоянии с помощью свойства, называемого запутанностью. Оно заключается в том, что две частицы синхронно меняют состояние без участия какого либо переносчика взаимодействия; их мир нелокален.
- Этот эффект не просто противоречит интуитивным представлениям: он представляет серьезную угрозу специальной теории относительности Эйнштейна, покушаясь на самые основы физики.

¹ Используются также термины «спутанность», «сцепленность». — Прим. ред.

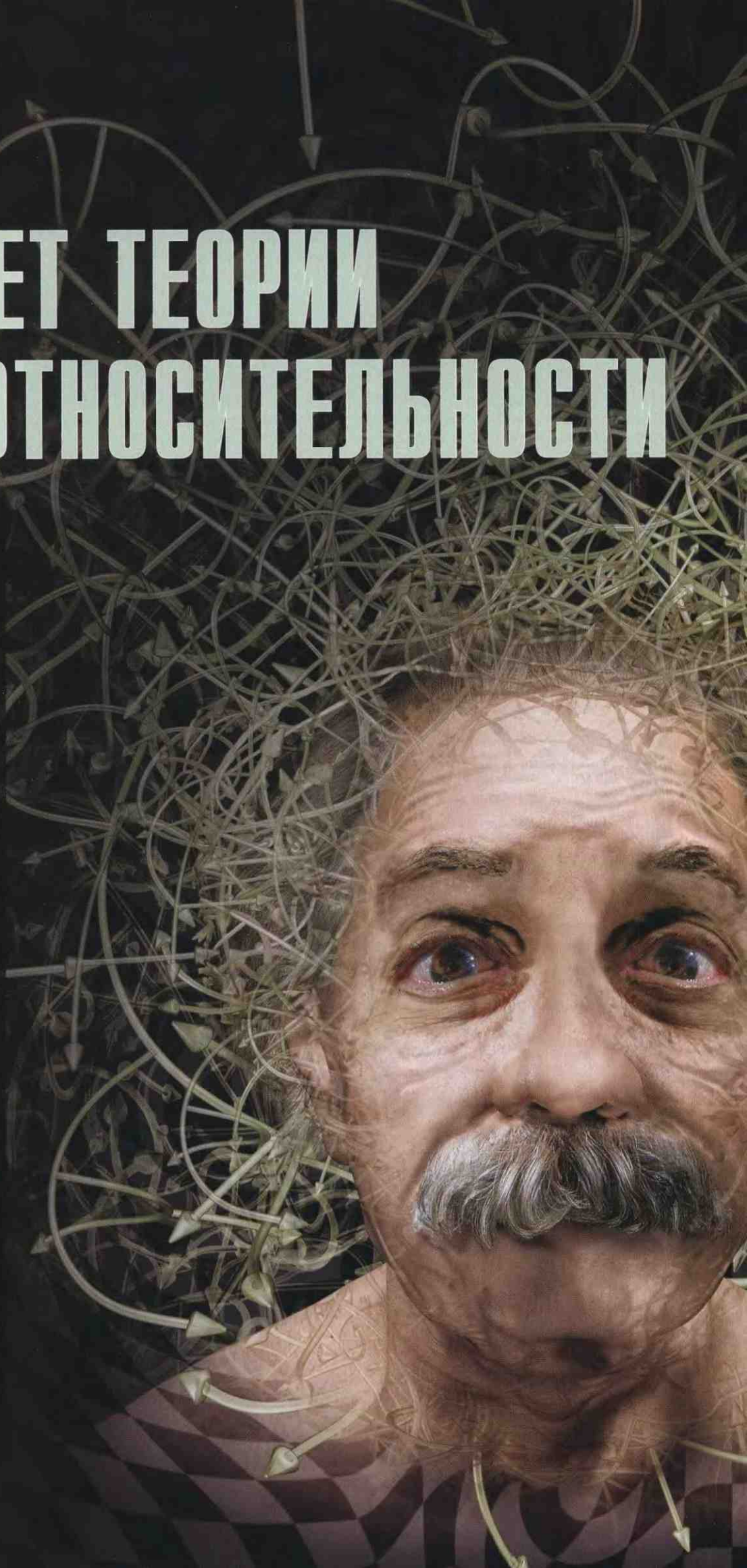
УГРОЖАЕТ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

столь же бессмыслен, как и вопрос о семейном положении числа пять. Проблема является не гносеологической (то, что мы знаем), а онтологической (то, что существует).

Частицы, связанные таким образом, физики называют квантовомеханически запутанными друг с другом. Запутанной может быть не только координата: частицы могут иметь противоположно направленные спины при том, что направление спина ни одной из них не является определенным. Или одна из двух частиц может быть возбужденной, но неизвестно, какая из них возбуждена. Запутанность может связывать частицы вне зависимости от их местоположения, их природы и сил взаимодействия между ними. Это вполне могут быть электрон и протон на противоположных краях Галактики. В общем, запутанность — такой род близости, почти интимной, между элементами материи, который прежде невозможно было даже представить.

Запутанность лежит в основе новой и исключительно перспективной области квантовых вычислений и квантовой криптографии, которая может открыть путь к решению задач, лежащих за пределами практических возможностей обычных компьютеров, а также возможность связи с гарантией защиты от перехвата (см.: Монро К., Уайнленд Д. Ионы для квантовых компьютеров // В мире науки, № 11, 2008).

А еще запутанность влечет за собой совершенно «противоестест-



МЫСЛЕННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ЭПР

Альберт Эйнштейн, Борис Подольский и Натан Розен (ЭПР) указали, что квантовая запутанность двух частиц приводит к не поддающемуся объяснению результату, если одну частицу наблюдает один человек (Алиса), а другую — другой (Боб), находящийся на большом расстоянии от первого

Квантовые спины



Электроны обладают свойством, называемым спином и показанным здесь стрелками. Они могут иметь любые направления. Когда Алиса измеряет спин электрона (внизу), она выбирает ось. При измерениях вдоль вертикальной оси она может получить направление спина вверх или вниз с определенной вероятностью для каждого из направлений. Проводя измерения вдоль горизонтальной оси, она получит спин, направленный или на восток, или на запад

Измерения



Запутанность двух частиц может проявляться в том, что при неопределенности обоих спинов они будут разнонаправлены. Предположим, что такую пару наблюдают Алиса и Боб, причем спин «частицы Алисы» направлен вверх (ниже). Тогда Боб, как бы далеко от Алисы он ни находился, при измерении вдоль вертикальной оси обязательно должен получить «свой» спин направленным вниз, т.е. в направлении, противоположном спину «частицы Алисы»

Запутанные спины



ЭПР рассуждают, что если результат измерения Боба — это всегда спин, направленный вниз, то «его» спин должен был быть направленным именно так еще до измерения. Но ведь Алиса (которая не сигнализирует заранее о выборе оси) могла с той же вероятностью измерять спин вдоль горизонтальной оси и получить, например, значение «восток». А тогда частица Боба должна была иметь спин, направленный на запад

Аргумент ЭПР



Никакое квантовое состояние не позволяет «частице Боба» иметь спин, направленный определенно вниз или определенно на запад; отсюда ЭПР заключают, что квантовая механика не может быть полной теорией

венное», противоречащее «здоровому смыслу» явление, называемое нелокальностью, — возможность взаимодействия объектов без непосредственного контакта и физического присутствия каких-либо промежуточных объектов, передающих действие. Нелокальность взаимодействия означает, что кулак в Де-Мойне может сломать нос в Далласе, не оказывая никакого воздействия на любой физический объект (будь то молекула воздуха, электрон в проводе или вспышка света) где-либо в пространстве между ними.

Основная угроза нелокальности (если исключить ее поразительную внутреннюю сущность), связана с тем, что она таит в себе колоссальные противоречия со специальной теорией относительности в том виде, в каком мы ее знаем. В последние годы эти старые противоречия — в конце концов привлечение внимания серьезных физиков — оказались в центре обсуждений, которые могут в итоге заставить пересмотреть или даже разрушить самые основы современной физики.

Радикальный пересмотр реальности

Квантовая механика вызывала у Эйнштейна серьезную озабоченность. В частности, тем, что она слишком уж связана с вероятностями (известна фраза Эйнштейна: «Бог не играет в кости»). Однако единственное возражение, сформулированное им официально и изложенное на бумаге, касается странностей квантовомеханической запутанности. Это возражение лежит в основе ЭПР-парадокса, названного по фамилиям трех его авторов —

ИЗМЕНЕНИЕ ВЗГЛЯДОВ НА «РЕАЛЬНОСТЬ»

Наш повседневный опыт подсказывает нам, что все взаимодействия в мире локальны: мы можем сдвинуть камень, только прикоснувшись к нему, толкнув его палкой и т.д., создав таким образом ту или иную непрерывную цепь прямых локальных воздействий. Однако с самого начала современной науки в XVII в. ученые сталкивались с взаимодействиями, которые представлялись им нелокальными



1687 г.: закон всемирного тяготения Исаака Ньютона, первое научное (в современном понимании) описание природы тяготения (гравитации), содержал понятие «действия на расстоянии». Ньютон был уверен, что должно существовать объяснение природы гравитации без нелокальности, и даже выдвинул гипотезу о том, что все представляющееся пустым пространство заполнено крошечными невидимыми колеблющимися частицами. Гипотеза не получила подтверждения

1785 г.: Шарль Кулон открыл закон, согласно которому сила взаимодействия электрических зарядов обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними, как и сила гравитационного взаимодействия по Ньютону. Электрические эффекты также выглядели «действием на расстоянии»



Дэвид Алберт (David Z. Albert) и **Ривка Галчен** (Rivka Galchen) преподают в Колумбийском университете, Дэвид учит понимать, что говорит физика о строении мира, а Ривка — как нужно это описывать. Алберт — профессор Вулбриджевской кафедры философии и автор работы *Quantum Mechanics and Experience and Time and Chance* («Квантовая механика, опыт, время и случайность»). Галчен — адъюнкт-профессор отделения литературы Школы искусств Колумбийского университета. Ее проникновенные очерки и эссе о науке часто публикуют газеты *New Yorker*, *New York Times* и *Believer*. В мае 2008 г. издательство *Farrar, Strauss and Giroux* выпустило ее первый роман *Atmospheric Disturbances* («Атмосферные возмущения»).

Эйнштейна и его коллег Бориса Подольского и Натана Розена (врезка на стр. 22). В своей статье 1935 г. «Можно ли считать квантовомеханическое описание физической реальности полным?» они ответили на поставленный ими вопрос хорошо аргументированным «нет».

Свою аргументацию они основывали на конкретном мысленном эксперименте, рецепт и математическое обоснование которого изложили. Предположим, что мы измеряем положение частицы, квантовомеханически запутанной с другой частицей, причем ни одна из них не имеет определенного положения, как сказано выше. Естественно, когда мы получаем результат эксперимента, мы изменяем описание первой частицы, поскольку мы теперь знаем, где она была в момент измерения. Однако алгоритм требует также, чтобы мы изменили и описание второй частицы, причем сделали это мгновенно, как бы далеко она ни находилась и что бы ни лежало между ними.

Запутанность была несомненным фактом квантовомеханической картины мира, но о вытекающих из этого факта следствиях никто до Эйнштейна не задумывался. А он видел в запутанности нечто не просто странное, но сомнительное. Она поразила его своей физической противоестественностью. Она лишила теорию локальности.

Никто тогда еще не был готов принять возможность существования реальной нелокальности взаимодействия — ни Эйнштейн, ни Бор, ни кто-либо еще. Эйнштейн, Подольский и Розен в своей статье считали несомненным, что очевидная нело-

кальность взаимодействий в квантовой механике может быть только кажущейся, что она должна быть некоей математической аномалией, неточностью терминологии или же устранимым артефактом алгоритма. Они были убеждены, что предсказания результатов квантовомеханического эксперимента можно построить, не прибегая к использованию понятия нелокальности.

В своей статье они приводили следующие аргументы: если (что очевидно!) реальной физической нелокальности в мире не существует, а предсказания квантовой механики верны, то квантовая механика должна отказаться от описания тех аспектов мира, которые не входят в ее компетенцию.

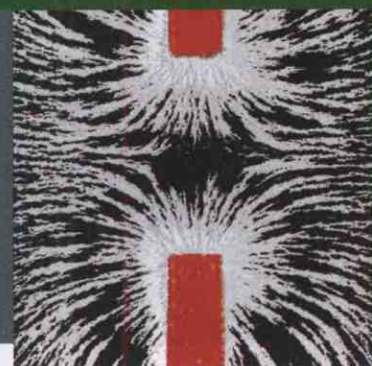
Бор откликнулся на статью ЭПР практически немедленно. Он написал эмоциональное опровержение, где не касался ни одного из конкретных научных аргументов авторов, но рассматривал вопрос — в путаной, а временами и просто риторической манере — об использовании понятия «реальность» и определении «элементов физической реальности» в этой статье. Он многословно писал о различии между субъектом и объектом, об условиях,

при которых имеет смысл задавать вопросы, и о природе человеческого языка. В чем, по мнению Бора, наука нуждалась, так это в «радикальном пересмотре нашего отношения к физической реальности».

В одном Бор согласился с авторами статьи: не может быть сомнений в существовании реальной физической нелокальности взаимодействий. Очевидная нелокальность — это всего лишь одна из причин, по которым необходимо отказаться от устаревших надежд, столь явно выраженных в статье ЭПР, надежд на возможность получить только из уравнений квантовой механики реалистическую картину мира, картину реально существующего в нашем восприятии от момента к моменту. Фактически Бор утверждал, что мы не только видим мир лишь через замутненное стекло, но что эти неясность и неопределенность реальны настолько, насколько человек способен представить.

Отклик Бора на ясно выраженные научные сомнения был странно философским. Однако еще более удивительным было отношение к отклику Бора как к канону теоретической физики. Поэтому попытки

$$\begin{aligned} \nabla \times \mathbf{E} &= -\frac{1}{c} \frac{d\mathbf{B}}{dt} \\ \nabla \times \mathbf{B} &= \frac{\mu}{c} (4\pi \mathbf{i} + \mathbf{j}) \\ \nabla \cdot \mathbf{D} &= 4\pi\rho \\ \nabla \cdot \mathbf{B} &= 0 \end{aligned}$$



1831 г.: Майкл Фарадей ввел понятие магнитных силовых линий. Физики того времени использовали понятия электрического и магнитного полей, заполняющих все пространство. При этом силы, действующие на частицы, оказывались, по крайней мере формально, локальными. Но эти поля считались лишь удобными расчетными инструментами, а не физическими реальностями

1849–1950 гг.: Ипполит Физо и Жан Бернар Фуко измерили скорость света, получив значение 298 тыс. км/с, но природа света осталась неизвестной



1865 г.: Уравнения электродинамики, выведенные Джеймсом Клерком Максвеллом, показали богатую внутреннюю динамику электрического и магнитного полей, взаимодействующих друг с другом и образующих в результате единое электромагнитное поле, изменения которого распространяются в свободном пространстве со скоростью 298 тыс. км/с. Из этого следовало, что электромагнетизм локален, а свет представляет собой электромагнитную волну!

ТЕОРЕМА БЕЛЛА И ФИЗИЧЕСКИЙ МИР

Нелокальность физического мира вытекает из сочетания теоремы, доказанной Джоном Беллом в 1964 г., и экспериментальных данных, полученных с начала 1980-х гг. Эта теорема касается головоломки о квантовомеханически запутанных частицах, которую придумали в 1935 г. Эйнштейн, Подольский и Розен (ЭПР) (*врезка на стр. 22*). Их аргументация исходила из локальности мира, согласно которой измерение, выполненное (например, Алисой) на одной частице из запутанной пары далеко разнесенных частиц, не может мгновенно изменить физическое состояние далеко отстоящей от нее другой частицы (например, той, измерения на которой проводит Боб). Из этого ЭПР заключают, что частица Боба уже должна была иметь определенное значение спина в каждом направлении. А это значит, что квантовая механика не может быть полной, т.к. не позволяет сказать об этом спине ничего, кроме того, что он должен согласовываться с любым измерением Алисы.

Белл задался следующим вопросом: если запутанные частицы Алисы и Боба имеют определенные значения спина, предсказывает ли их квантовая механика при любых способах измерений? Вспомним, что при измерении запутанных спинов и Алиса, и Боб должны выбрать ось измерения. Белл математически доказал, что в случае, если угол между осями, выбранными Алисой и Бобом, будет составлять 45° или 90° , то статистическое распределение результатов многократных измерений не будет согласовываться с предсказываемым квантовой механикой, какими бы ни были статистические распределения определенных значений спинов частиц.

Ученые провели эксперименты с запутанными фотонами вместо электронов (это изменило используемые углы, но сделало эксперимент технически гораздо более простым) и получили результаты, согласующиеся с предсказаниями квантовой механики. Таким образом, по теореме Белла, эти запутанные фотоны не могут иметь определенных состояний. А поскольку этот факт противоречит выводам ЭПР, допущение о локальности природы ошибочно. Значит мир, в котором мы живем, не может быть локальным

уделить этим вопросам больше внимания считались отступничеством. В итоге физическое сообщество отказалось от своих прежних чаяний понять реальную сущность мира и надолго передало метафизические вопросы на откуп научно-фантастической литературе.

Даже сегодня эта важнейшая часть наследия Эйнштейна остается малоизвестной. В ставшей бестселлером биографии ученого *Einstein: His Life and Universe* («Эйнштейн: его жизнь и Вселенная»), написан-

ной Уолтером Айзексоном (Walter Isaacson) и изданной в 2007 г., читателей просто убеждают, что критические замечания Эйнштейна в отношении квантовой механики уже сняты. Однако это не так.

Возвращение из забвения

Первое серьезное научное обращение к доводам ЭПР произошло (после 30 с лишним лет забвения) в знаменитой статье выдающегося ирландского физика Джона Белла (John S. Bell), вышедшей

в 1964 г. Из этой статьи следует, что Бор ошибался, полагая, что в его понимании квантовой механики не было ошибок, и что Эйнштейн ошибался в отношении того, что было ошибочным в представлениях Бора. А чтобы понять, что в действительности было ошибочно, нужно отказаться от идеи локальности.

Ключевой вопрос таков: является ли нелокальность, которая, по-видимому, присутствует в квантовомеханическом подходе, только кажущейся, или за ней стоит что-то большее? Белл, похоже, был первым человеком, который задумался над смыслом этого вопроса. Чем будет реальная нелокальность отличаться от кажущейся? Согласно его рассуждениям, если какой-либо явно и полностью «локалистский» подход позволяет предсказать те же результаты эксперимента, что и квантовомеханический, то Эйнштейн и Бор правы, отвергая нелокальность как артефакт конкретного формализма. Если же алгоритма, позволяющего обойтись без нелокальностей, нет, тогда нелокальности должны находить отражение в реальных физических явлениях. Исходя из этого, Белл рассмотрел конкретный случай запутанности и пришел к выводу, что никакой «локальный» алгоритм математически невозможен.

А раз так, физический мир нелокален. И ничего с этим не поделаешь.

Этот вывод все ставит с ног на голову. И Эйнштейн, и Бор, и все остальные были убеждены, что любая реальная несовместимость квантовой механики с принципом локаль-

НЕЛОКАЛЬНОСТЬ В РАЗНЫХ ВЕКАХ

1905 г.: специальная теория относительности Эйнштейна согласует уравнения Максвелла с принципом относительности (для всех наблюдателей, движущихся друг относительно друга с постоянной скоростью, законы физики

должны представляться одинаковыми). Но это исключает возможность абсолютной одновременности отдаленных событий

1907–1916 гг.: в общей теории относительности Эйнштейна кривизна пространства-времени играет ту же роль, что электромагнитное поле для сил электромагнитного взаимодействия. Тяготение локально: если масса колеблется, то «рябь» на кривизне пространства-времени распространяется со скоростью света



1935 г.: Эйнштейн, Борис Подольский и Натан Розен (ЭПР) утверждают, что, поскольку квантовомеханические расчеты содержат нелокальные этапы, квантовая механика не может быть полной теорией. Нильс Бор (на фото справа) настаивает, что квантовую механику необходимо принять, отказавшись от старых представлений о «реальности»





ности будет проблемой для квантовой механики. Однако Белл показал, что локальность несовместима не только с абстрактным теоретическим механизмом квантовой механики, но и с некоторыми ее практическими предсказаниями. Эксперименты, в частности работы Алена Аспе (Alain Aspect) с коллегами из Оптического института в Палезо во Франции в 1981 г. и позднее, не оставили сомнений в том, что эти предсказания правильны. И эта новость оказалась плохой не для квантовой механики, а для принципа локальности и, возможно, для специальной теории относительности, поскольку в ее основе, по нынешним представлениям, лежит презумпция локальности (срезка на стр. 24).

Метафизическое таинственное путешествие

Главной реакцией на работу Белла стала еще большая путаница в представлениях, сохраняющаяся во многих головах и поныне. Белл показал, что в принципе любая теория, способная объяснить эмпирические предсказания квантовой механики для пары запутанных частиц (включая саму квантовую механику), должна быть нелокальной.

Этот тезис был практически проигнорирован. Более того, все говорили, будто Белл показал, что любая попытка замены классической квантовомеханической картины мира чем-либо согласующимся с нашими классическими метафизическими ожиданиями — любой так называемой теорией скрытых параметров, детерминистской или

философски реалистической теорией — должна быть нелокальной, если она может объяснить квантовомеханические предсказания для системы ЭПР. Люди вроде бы читали работу Белла, но словно через кривое зеркало.

Лишь немногие физики сумели избежать этого ошибочного представления и понять, что доводы Белла и эксперименты Аспе доказали нелокальность мира, но даже среди них почти все были убеждены, что нелокальность не представляет особой угрозы специальной теории относительности. Эта вера исходила из представления, что специальная теория относительности неразрывно связана с невозможностью передачи сигнала со скоростью, превышающей скорость света. Ведь если специальная теория относительности верна, то можно утверждать, что никакой материальный носитель не может быть разогнан из состояния покоя до скорости большей, чем скорость света. Можно утверждать также, что сигнал, передаваемый со сверхсветовой скоростью, будет по некоторым часам прибывать к месту назначения раньше, чем был отправлен, тем самым снимая парадокс о путешествиях во времени.

Однако еще в 1932 г. блестящий венгерский математик Джон (Янош) фон Нейман (John von Neumann) доказал, что из нелокальности квантовой механики никак нельзя извлечь механизм мгновенной передачи сигнала. Много десятилетий практически все сообщество физиков рассматри-

вало доказательство фон Неймана как гарантию возможности мирного сосуществования нелокальности квантовой механики и частной теории относительности.

Различные проявления нелокальности

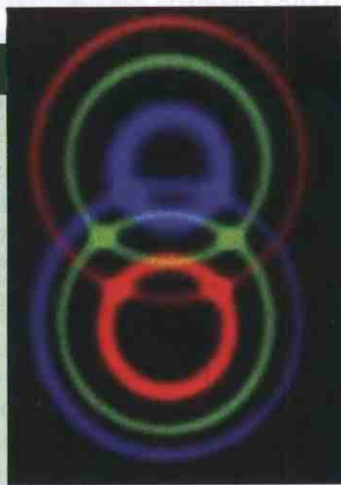
Только через 30 лет после публикации работы Белла физики столкнулись с этими вопросами лицом к лицу. Первое ясное, последовательное, логически безупречное и откровенное рассмотрение квантовой нелокальности и специальной теории относительности появилось в 1994 г. в книге *Varieties of Nonlocal Experience* («Виды проявления нелокальности») Тима Модлина (Tim Maudlin) из Университета Рутгерса. В ней показано, что вопрос о совместимости нелокальности со специальной теорией относительности гораздо сложнее, чем представляется на основе привычных банальностей о мгновенной передаче сигналов.

Работа Модлина появилась на фоне новых и важных изменений интеллектуальной среды. С начала 1980-х гг. привязанность к убеждению Бора в невозможности старомодного, философски-реалистичного описания субатомного мира начала повсеместно ослабевать. К тому времени появился ряд перспективных конкретных научных идей, представлявших, как казалось, хорошие описания такого рода, по крайней мере в нерелятивистском приближении. К числу этих идей относилась механика

1964 г.: Джон Белл (справа) распространил рассуждения ЭПР на случаи измерений спинов вдоль непараллельных осей и показал, что никакая локальная теория не может дать тех же предсказаний относительно результатов экспериментов, какие дает квантовая механика. Предсказания любой локальной теории всегда должны удовлетворять математическим соотношениям, известным под названием неравенств Белла



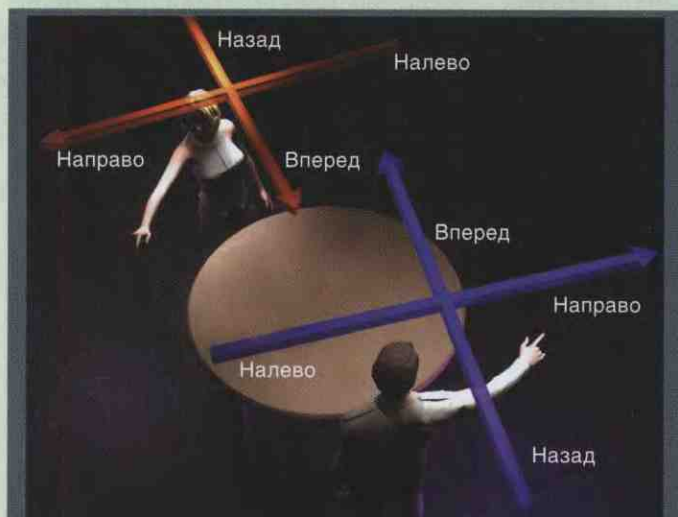
1981 г. — наши дни: эксперименты с запутанными состояниями фотонов (справа), например Алена Аспе с сотрудниками, подтвердили, что мир следует предсказаниям квантовой механики даже в тех случаях, когда квантовая механика не подчиняется неравенствам Белла. Итак, мир нелокален



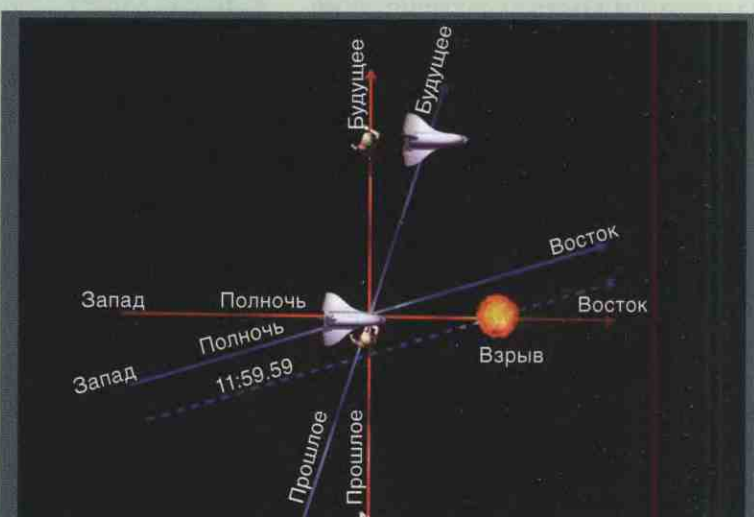
ПОЧЕМУ СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ «НЕ ЛЮБИТ» НЕЛОКАЛЬНОСТЬ?

Специальная теория относительности выявила важное и не имеющее аналогов в прошлом геометрическое соотношение между пространством и временем. Это соотношение лишает понятие «мгновенного действия на расстоянии» какого бы то ни было физического смысла.

Здесь Алиса и Боб не могут ни договориться об одновременности удаленных событий, ни согласиться с теорией, допускающей воздействие на расстоянии, — например такое, когда Алиса нажатием кнопки «мгновенно» вызывает взрыв на большом удалении



Для Алисы и Боба, стоящих по разные стороны стола, пространственные направления «направо», «налево», «вперед» и «назад» различны. Специальная теория относительности показывает, что у людей, движущихся друг относительно друга, различны и представления о времени



Для Алисы центр системы пространственно-временных координат (красные) находится там, где находится она сама точно в полночь. Боб пролетает над Алисой в направлении на восток со скоростью, близкой к скорости света. Его движение наклоняет его оси координат и времени (синие) по отношению к соответствующим осям Алисы. Их представления о времени взрыва бомбы в нескольких километрах от них различаются. Для Алисы взрыв произошел в полночь, а для Боба на секунду раньше (синяя пунктирная линия)

Бома (David Bohm) в Англии (разработанная в начале 1950-х гг. и послужившая толчком к работе Белла, но в остальном практически незамеченная) и модель GRW Джанкарло Гирарди (GianCarlo Ghirardi), Альберто Римини (Alberto Rimini) и Туллио Вебера (Tullio Weber) в Италии. Дремавшие в пренебрежении больше 50 лет старые надежды на то, что физика станет путеводителем по метафизике и буквально и просто объяснит, как на деле устроен мир, стали понемногу оживать.

Книга Модлина фокусирует внимание на трех важных моментах. Пункт первый: специальная теория относительности есть заявление о геометрической структуре пространства и времени. Невозможность переноса массы, энергии, информации или причинного воздействия со скоростью большей, чем скорость света, — ни один из этих фактов сам по себе не может гарантировать, что утверждения теории о геометрии верны. Таким образом, доказательство фон Неймана о передаче сообщений как таковое не дает нам гарантии того, что квантовомеханическая нелокальность

и частная теория относительности могут мирно сосуществовать.

Пункт второй: истинность специальной теории относительности (как неоспоримый факт) прекрасно согласуется с огромным количеством гипотетических механизмов передачи массы, энергии, информации или причинного воздействия со скоростью большей, чем скорость света. В 1960-х гг. Джералд Фейнберг (Gerald Feinberg) из Колумбийского университета опубликовал внутренне непротиворечивую и вполне релятивистскую теорию гипотетических частиц — тахионов, которые физически не могут перемещаться со скоростью, меньшей скорости света. Модлин предложил и другие примеры.

Итак, один только факт существования нелокальности в квантовой механике сам по себе не означает, что квантовая механика не может сосуществовать с частной теорией относительности. Так что, возможно, надежда есть.

Но в своем третьем пункте Модлин подчеркивает, что конкретный характер взаимодействия на расстоянии, наблюдаемый в квантовой ме-

ханике, совершенно отличен как от тахионов Фейнберга, так и от других примеров, предложенных самим Модлином. Это взаимодействие не объяснимо тем, что оно не зависит ни от взаимного расположения частиц в пространстве, ни от присущих им физических свойств, как зависят от них все релятивистские влияния, рассмотренные выше, а определяется только квантовомеханической запутанностью друг с другом.

Род нелокальности, наблюдаемый в квантовой механике, похоже, требует абсолютной одновременности, которая являет собой вполне реальную и существенную угрозу положениям специальной теории относительности.

В этом-то все и дело.

Надежда для специальной теории относительности?

Обсуждение проблемы в самые последние годы принесло два новых результата, которые тянут в совершенно разные стороны. Первый предполагает путь к совместимости квантовомеханической нелокальности со специальной теорией относительности, а второй заявля-

ет новый подход, в котором сочетание квантовой механики со специальной теорией относительности наносит удар по самым общим нашим представлениям о мире.

Первый результат появился в 2006 г. в виде поразительной статьи молодого немецкого математика Родериха Тумулки (Roderich Tumulka), работающего сегодня в Университете Рутгерса. Он предложил хитрую модификацию теории GRW, которая позволяет воспроизвести эмпирические предсказания квантовой механики для запутанных пар частиц (напомним, что эта теория предлагает философски реалистичный способ получения предсказаний квантовой механики для многих случаев). Модификация нелокальна, зато полностью совместима с геометрией пространства-времени в специальной теории относительности.

Эта теория еще не вышла из своего детского возраста. Так, еще никому не удалось предложить удовлетворительный вариант теории Тумулки, применимый к частицам, испытывающим взаимное притяжение или отталкивание. Более того, она вводит в законы природы новый вид нелокальности — не только в пространстве, но и во времени. Согласно этой теории, для предсказания вероятностей будущих состояний системы необходимо ввести не только полное описание физического состояния мира на текущий момент (как обычно делается в физических теориях), но и некоторые сведения из прошлого. Это и некоторые другие обстоятельства тревожат, но Тумулка, несомненно, снял часть опасений Модлина по поводу возможности мирного сосуществования квантовомеханической нелокальности и специальной теории относительности.

Другой результат, обнаруженный недавно одним из авторов настоящей статьи (Албертом), показывает, что комбинирование квантовой механики с частной теорией относительности требует отказа от других наших фундаментальных убеждений. Мы полагаем, что полное описание мира в принципе возможно пред-

ставить в форме рассказа или, если употреблять более точные и научные термины, выразить бесконечной последовательностью утверждений типа «в момент t_1 точное состояние мира таково», «в момент t_2 точное состояние мира таково» и т.д. Но явление квантовомеханической запутанности и геометрия пространства-времени, взятые в совокупности, показывают, что физическое описание мира неизмеримо сложнее.

Беда в том, что специальная теория относительности объединяет пространство и время таким образом, что преобразует квантовомеханическую запутанность двух разных физических систем в запутанность двух физических состояний в разные моменты времени, т.е. во что-то, что никак не сводится к любой сумме ситуаций в два различных момента времени, отличается от этой суммы или вовсе не имеет с ней ничего общего.

Этот результат, как и многие другие теоретические изыскания в квантовой механике, тесно связан с преобразованиями и анализом волновой функции — математического понятия, которое ввел около 80 лет назад Эрвин Шредингер (Erwin Schrodinger) для описания квантовых состояний. Именно с помощью волновой функции физики сделали выводы о возможности (а фактически — необходимости) существования запутанности частиц, о частицах с неопределенными координатами и др. И именно волновая функция лежит в основе головоломки, связанных с эффектами нелокальности.

Но что она представляет собой конкретно? Исследователи основ физики сегодня активно обсуждают этот вопрос. Является ли волновая функция реальным физическим объектом, или она чем-то подобна закону движения, внутренним свойствам частиц или соотношениям между точками пространства? Или это просто текущая информация о частицах? Или что-то еще?

Квантовомеханические волновые функции не могут быть математически представлены в чем-то

меньшем, нежели ошеломляюще многомерное пространство, называемое пространством конфигураций. Если волновые функции следует считать конкретными физическими объектами, то необходимо серьезно отнестись к идее о том, что реальный мир существует не в привычном для нас трехмерном пространстве и не в четырехмерном пространстве-времени специальной теории относительности, а в гигантском и непривычном многомерном пространстве конфигураций, из которого каким-то образом рождается иллюзия трехмерности пространства. Наше трехмерное представление о локальности тоже следует понимать как производное. Тогда нелокальность квантовой физики может быть окном в более глубокий уровень реальности.

Чуть больше чем через сто лет после того, как миру была явлена специальная теория относительности, ее состояние неожиданно оказалось радикально открытой и быстро развивающейся темой. Это стало возможным благодаря тому, что физики и философы наконец-то прошли дальше нестыковок в аргументации Эйнштейна относительно квантовой механики, которыми долго пренебрегали. И, по иронии судьбы, это может оказаться еще одним доказательством гениальности Эйнштейна. Вполне возможно, что гуру, вклад которого какое-то время был недооценен, ошибался как раз там, где его считали правым, и был прав как раз там, где предполагали его ошибку. Может оказаться, что мы смотрим на мир через не такое уж темное стекло, как нас долго убеждали. ■

Перевод: И.Е. Сацевич

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Quantum Theory and Measurement. Edited by John Archibald Wheeler and Wojciech Hubert Zurek. Princeton University Press, 1983 (включает в себя оригинальную статью ЭПР и отклик Нильса Бора).
- Quantum Mechanics and Experience. David Z. Albert. Harvard University Press.

Панкадж Джоши

ГОЛЫЕ СИНГУЛЯРНОСТИ

Причиняющее беспокойство порождение
черной дыры — голая сингулярность.
Долгое время физики полагали,
что данное явление не может
существовать в природе.
Так ли это?

Современная наука знакомит нас с множеством удивительных явлений, среди которых судьба гнущей массивной звезды заслуживает особого внимания. Исчерпав горючее, поддерживавшее ее миллионы лет, наша «героиня» больше не в состоянии сохранять равновесие и под действием собственного веса стремительно сжимается в точку, коллапсирует. Рядовые звезды, подобные нашему Солнцу, тоже сжимаются, но всего лишь до некоторого устойчивого состояния, размер которого меньше исходного. Если звезда достаточно массивна, то ее гравитация доминирует над всеми остальными силами, способными предотвратить коллапс. Если же ее диаметр составляет миллионы

километров, то она съезживается до размеров булавочного укола.

Многие физики и астрономы считают, что финальная стадия коллапса есть черная дыра — объект, обладающий такой сильной гравитацией, что ничто не может вырваться из его ближайшего окружения. Черная дыра состоит из двух частей. В ее центре расположена сингулярность, область бесконечно малых размеров, в которой все вещество звезды разрушается. Эту сингулярность окружает область пространства-времени, из которой невозможно выбраться; ее граница — горизонт событий. Нечто, раз проникнувшее за горизонт собы-

тий, навсегда теряет надежду вернуться. От падающего в черную дыру объекта не сможет уйти ни один луч света, и поэтому внешний наблюдатель никогда больше не увидит этого объекта.

Насколько правдоподобна такая картина? Согласно известным законам физики, сингулярность действительно формируется, однако вопрос о наличии горизонта событий черной дыры до сих пор остается открытым. Большинство физиков проводят свои расчеты, предполагая, что горизонт событий должен сформироваться только потому, что он есть своего рода очень привлекательный... «научный фиговый лист». Дело в том, что исследователи до сих пор не разгадали, что же в точности происходит в сингулярности: материя разрушается, но что же случается с ней потом? Скрывающий сингулярность горизонт событий скрывает и брешь в наших знаниях. В сингулярности могут происходить всевозможные неизвестные науке процессы, которые никак не повлияют на внешний мир. Вычерчивая орбиты планет и звезд, астрономы могут спокойно игнорировать вноси-

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Если исходить из здравого смысла, то большая звезда неизбежно коллапсирует в черную дыру. Однако, согласно некоторым теоретическим моделям, вместо этого она может превратиться в так называемую голую сингулярность. Выяснение того, что же происходит в действительности, — одна из наиболее важных нерешенных задач астрофизики.
- Открытие обнаженных сингулярностей могло бы изменить стратегию поиска Единой теории всех физических взаимодействий, и не только благодаря возможности проведения прямых наблюдательных тестов такой теории.

мые сингулярностями неопределенности и уверенно использовать законы классической физики. Что бы ни происходило в черной дыре — все это происходит только внутри нее.

Однако все большее число исследований обращают эту рабочую гипотезу в вопрос. Физики-теоретики выявили разнообразное количество сценариев коллапса звезд, при которых горизонт событий вообще не образуется, и сингулярность, таким образом, становится выставленной на всеобщее обозрение. Ученые называют такую сингулярность голой (или обнаженной). Вещество и излучение могут как попадать внутрь, так и уходить из нее. Несмотря на то что путешествие к сингулярности внутри черной дыры возможно только в одну сторону, вы, в принципе, можете подобраться к обнаженной сингулярности так близко, как захотели бы, а потом смогли бы вернуться и рассказать об этом.

Если бы существовала голая сингулярность, то последствия оказались бы столь внушительными, что были бы способны оказать существенное влияние на современную астрофизику и фундаментальную физику. Отсутствию горизонта событий могло бы означать, что загадочные процессы, происходящие вблизи сингулярностей, вторглись во внешний мир. Голые сингулярности могли стать причиной необъяснимых событий сверхвысоких энергий, наблюдаемых астрономами, а также послужить лабораторией для исследования тончайшей структуры пространства-времени.

Космическая цензура

Считалось, что горизонт событий — наиболее «понятный» ученым элемент черной дыры, сингулярности же действительно загадочны и принадлежат к области пространства-времени, в которых гравитационные силы становятся бесконечно большими, нарушая, таким образом, известные физические законы. Согласно современному пониманию гравитации, основанной на общей теории относительности (ОТО) Эйнштейна, сингулярности неизбежно образуются в процессе

коллапса гигантской звезды. ОТО не принимает во внимание квантовые эффекты, которые становятся важными для микроскопических объектов. Но можно предположить, что возникающие квантовые эффекты предотвращают обращение гравитации действительно в бесконечность. Физики до сих пор бьются над проблемой развития квантовой гравитации, необходимой для объяснения физических процессов, происходящих в сингулярностях.

Для сравнения: то, что происходит в области пространства-времени вокруг сингулярности, кажется довольно ясным. Радиус горизонта событий звезд составляет несколько километров, что гораздо больше, чем масштабы квантовых эффектов. Не вводя новых законов природы, можно сказать, что горизонты событий управляются только законами ОТО, которая основывается на уже известных принципах и прошла 90-летнюю проверку наблюдениями.

Вообще говоря, приложение теории к коллапсу звезд — довольно трудоемкая задача. Уравнения гравитации Эйнштейна известны своей сложностью, и их решение требует упрощающих допущений. Американские физики Дж. Роберт Оппенгеймер (J. Robert Oppenheimer) и Хартланд Снайдер (Hartland S. Snyder), а также, независимо от них, индийский физик Б. Датт (B. Datt) предприняли первую попытку их решения в конце 30-х гг. прошлого века. Для упрощения уравнений они рассматривали только в точности сферически-симметричные звезды, состоящие из однородного газа с пренебрежимо малым давлением. Ученые выяснили, что если коллапсирует такая идеализированная звезда, то гравитация на ее поверхности растет и в конце концов становится достаточно сильной для того, чтобы пленить все вещество и излучение, формируя таким образом горизонт событий. Звезда становится невидимой для внешнего наблюдателя, и как только она сколлапсирует, все траектории, находящиеся в области под горизонтом событий, будут вести в сингулярность.

Процесс эволюции реальных звезд, конечно, гораздо сложнее. Их плотность неоднородна, газ внутри них обладает давлением, и поэтому они могут принимать несколько иные формы. Возникает вопрос: каждая ли достаточно массивная звезда превращается в черную дыру? В 1969 г. физик Оксфордского университета Роджер Пенроуз (Roger Penrose) предположил, что ответ на этот вопрос будет положительным. Согласно его гипотезе, формирование сингулярности во время гравитационного коллапса звезды неизбежно влечет за собой формирование и горизонта событий. Природа как будто запрещает нам видеть сингулярность, укрывая ее горизонтом событий. Таким образом, идея Пенроуза была названа «гипотезой космической цензуры», которая, тем не менее, стала фундаментом современных исследований черных дыр. Физики рассчитывали доказать эту гипотезу так же математически строго, как это было сделано при доказательстве неизбежности возникновения сингулярности.

Сингулярность как она есть

Однако надеждам специалистов не суждено было сбыться. Вместо того чтобы прийти к прямому дока-

ОДЕТАЯ ИЛИ РАЗДЕТАЯ?

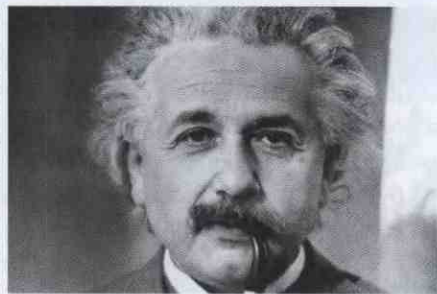
Черные дыры и голые сингулярности — два возможных финальных состояния процесса коллапса гнущей массивной звезды. Сердцевину каждого из них составляет сингулярность — клубок материи такой высокой плотности, что становятся необходимыми новые законы физики для его описания. Все, что попадает в сингулярность, разрушается.

В черной дыре сингулярность «одетая» — она окружена виртуальной граничной поверхностью, называемой горизонтом событий, которая скрывает ее от внешнего наблюдателя. Все, что проникает под эту поверхность, никогда не может вернуться назад.

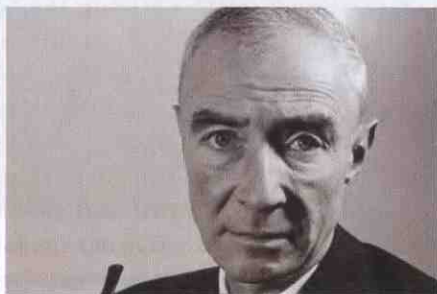
Обнаженная сингулярность не окружена такой граничной поверхностью. Она видима внешнему наблюдателю, и объекты, движущиеся по направлению к ней, могут, в принципе, развернуться вплоть до достижения самой сингулярности

ОТЦЫ-ОСНОВАТЕЛИ

Непрекращающиеся споры о том, может ли формироваться обнаженная сингулярность, — часть длинной истории о черных дырах



Общая теория относительности (ОТО) предсказывает черные дыры, но Эйнштейн сомневался, могут ли они существовать в действительности



Дж. Роберт Оппенгеймер (J. Robert Oppenheimer) (позже возглавивший Манхэттенский проект) и другие ученые показали, что черные дыры могут формироваться



Стивен Хокинг (Stephen Hawking) и Роджер Пенроуз (Roger Penrose) (ниже) доказали, что образование сингулярности неизбежно



Пенроуз утверждал, что сингулярности должны быть скрыты горизонтом событий. Некоторые ученые придерживались иной точки зрения

зательству гипотезы космической цензуры при любых физических условиях, ученые оказались вынуждены рассматривать различные случаи коллапса, один за другим, постепенно украшая теоретические модели деталями, в которых нуждались начальные исследования в этой области. В 1973 г. немецкий физик Ханс Юрген Зейферт (Hans Jurgen Seifert) и его коллеги ввели в рассмотрение неоднородность распределения вещества в звезде. Интригующий результат: слои проникающего в черную дыру вещества могли бы сталкиваться, порождая не скрытые горизонтом мгновенные сингулярности. Но сингулярности могут быть разных типов, и те, о которых идет речь, оказались бы «мягкими». Другими словами, несмотря на то что плотность в некоторой области была бы бесконечной, гравитация оставалась бы конечной, и, таким образом, сингулярность не жала бы вещество и попадающие в нее объекты до размеров булавочного укола. В такой сингулярности сохранились бы законы ОТО, и вещество продолжало бы двигаться дальше до своей встречи с истинной, центральной сингулярностью.

В 1979 г. Дуглас Ирдли (Douglas M. Eardley) из Калифорнийского университета в Санта-Барбаре и Ларри Смарт (Larry Smarr) из Иллинойского университета сделали следующий шаг, осуществив численное моделирование эволюции звезды, обладающей законом изменения плотности, повышенной в центре и медленно убывающей к периферии. Точно такие же, но уже более точные результаты были получены в 1984 г. Деметриосом Кристоделу (Demetrios Christodoulou) из Швейцарского федерального технологического института в Цюрихе. Согласно этим двум исследованиям, звезда сжимается до нулевого размера с образованием голой сингулярности. Однако обе модели все еще не учитывали давление. Ричард Ньюман (Richard P.A.C. Newman) из Йоркского университета Великобритании показал, что образующаяся таким образом сингулярность снова оказывается гравитационно слабой.

Воодушевленные полученными результатами, многие исследователи, включая автора этой статьи, занялись формулировкой строгой теоремы, гласящей, что голые сингулярности всегда гравитационно слабые. Но ничего не получилось. Причина вскоре выяснилась: оказалось, что в некоторых случаях неоднородного коллапса обнаженные сингулярности бывают сильными, т.е. истинными сингулярностями, в которых полностью разрушается вещество, и которые, тем не менее, остаются видимыми для внешнего наблюдателя. Общий анализ коллапса звезды (хотя по прежнему без учета давления газа), проведенный в 1993 г. Индрешем Дживеди (Indresh Dwivedi) из Университета Агры и автором этой статьи, подтвердили и прояснили эти положения.

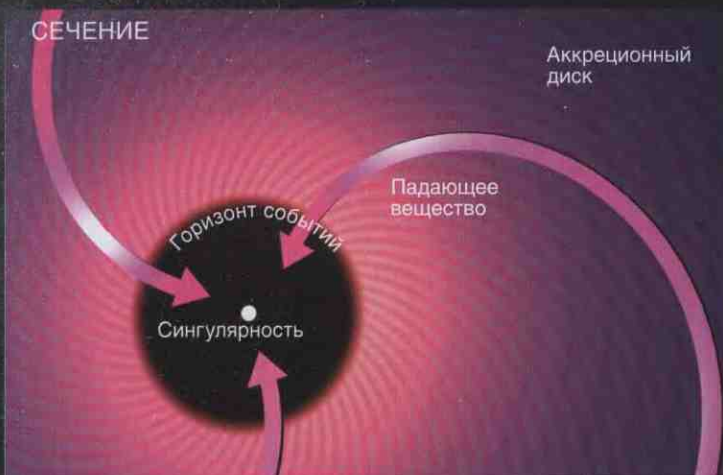
В начале 90-х гг. прошлого века было учтено и давление газа. Амос Ори (Amos Ori) из Израильского технологического института (Техниона) и Цви Пيران (Tsvi Piran) из Израильского университета в Иерусалиме провели численное моделирование, а группа автора статьи получила точные аналитические решения соответствующих уравнений. Результат такой: звезды с реалистичным соотношением плотности и давления при коллапсе могли бы порождать голые сингулярности. Примерно в то же время научные группы, возглавляемые Джулио Мальи (Giulio Magli) из Миланского политехнического университета и Кен-ичи Накао (Ken-ichi Nakao) из Университета Осаки рассмотрели модель коллапса звезды, обладающей давлением, которое обусловлено вращающимися частицами. Ученые показали, что для широкого класса допустимых в такой модели параметров финалом коллапса также становится обнаженная сингулярность.

Во всех проведенных исследованиях коллапсирующее тело полагалось сферически-симметричным, что представляет собой хорошее приближение, поскольку реальные звезды довольно близки к такой форме. Кроме того, строго сферически-симметричные звезды обладают бо-

ДВА КОСМИЧЕСКИХ ЧУДОВИЩА

В сущности, обнаженная сингулярность — это черная дыра без своей «черной» части: она может как всасывать в себя материю и излучение, так и исторгать их из себя. Таким образом, голая сингулярность может выглядеть по-разному и по-разному влиять на окружающее пространство

ЧЕРНАЯ ДЫРА



Ключевая характеристика черной дыры — это горизонт событий, поверхность, под которую может попадать вещество, но из-под которой оно никогда не может выйти наружу. Как правило, горизонт событий окружен вращающимся газовым диском

ВЗГЛЯД СО СТОРОНЫ ВНЕШНЕГО НАБЛЮДАТЕЛЯ



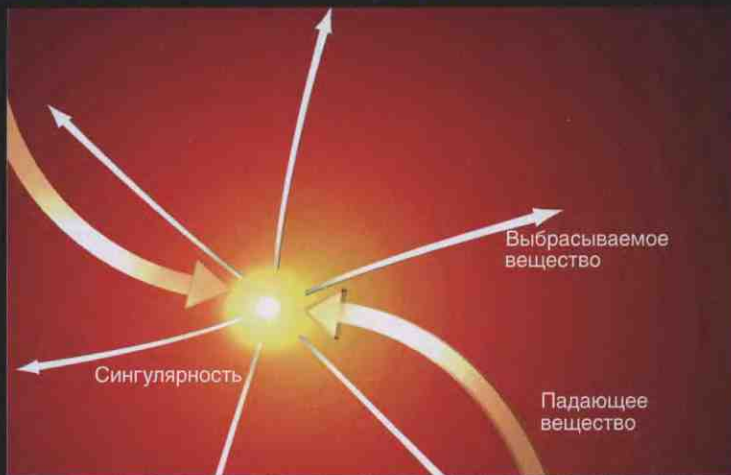
С точки зрения внешнего удаленного наблюдателя черная дыра напоминает черный как смоль шар. Сингулярность расположена внутри и не может наблюдаться. Трение во вращающемся вокруг черной дыры диске порождает интенсивное излучение. Одна часть вещества диска выбрасывается в виде джета, другая поглощается

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ДИАГРАММА

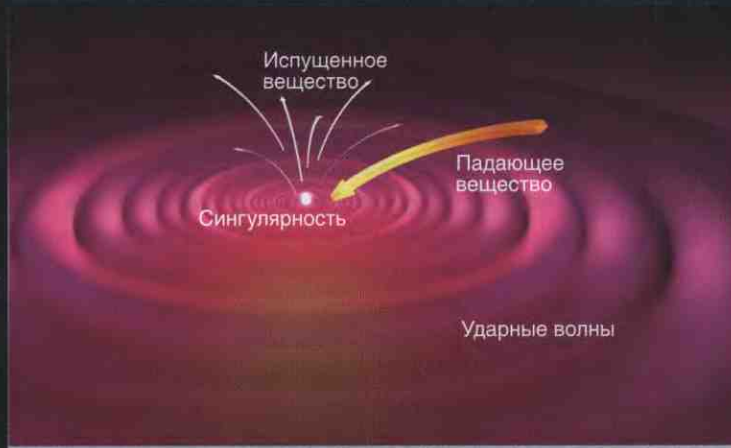


Однородная звезда без учета давления газа сжимается (коллапсирует) в черную дыру. Гравитация звезды нарастает, все больше и больше искривляя траектории движущихся вблизи нее объектов (включая фотоны) и в конце концов замыкая их

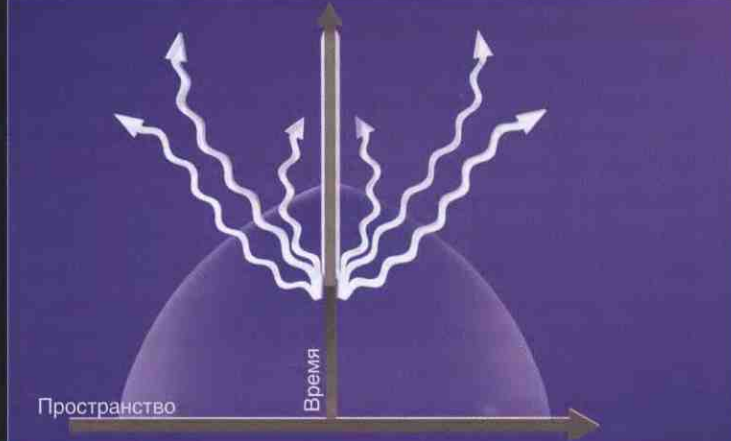
ОБНАЖЕННАЯ СИНГУЛЯРНОСТЬ



Голая сингулярность не имеет горизонта событий. Так же, как и черная дыра, она может поглощать вещество, но, в отличие от нее, может и выбрасывать вещество



Голая сингулярность выглядит как крошечная песчинка, которая, правда, обладает невообразимой плотностью. Падающее вещество может быть наблюдаемо до самого последнего момента своего движения по направлению к сингулярности. Сильная гравитация может породить мощные ударные волны



В случае, когда звезда неоднородна, ее гравитация может и не возрасти достаточно сильно для того, чтобы пленить фотоны. Звезда коллапсирует в сингулярность, но эту сингулярность можно наблюдать (пошаговое моделирование этого процесса — на врезке на стр. 30).

ДВА ПУТИ РАЗДАВЛИВАНИЯ ЗВЕЗДЫ

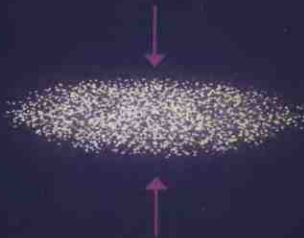
Компьютерное моделирование выявляет условия, при которых звезда коллапсирует в черную дыру или в обнаженную сингулярность. Показанные результаты моделирования полагают

звезду роем частиц, гравитация которых настолько мощна, что остальные силы, действующие в этой системе (например, давление газа), пренебрежимо малы

ЧЕРНАЯ ДЫРА



1. Начальная конфигурация звезды — рыхлый шар



2. В ходе коллапса звезда вначале становится более плоской...



3. ...а затем сжимается уже по всем направлениям



4. В конечном счете гравитация нарастает так сильно, что она пленяет даже фотоны, и образуется горизонт событий



5. Вещество, находящееся под горизонтом событий, продолжает коллапсировать до образования сингулярности



6. Финальная стадия эволюции звезды может быть смоделирована, но в реальности наблюдать ее невозможно из-за наличия горизонта событий

лее благоприятными условиями для формирования горизонта частиц, чем звезды, отклоняющиеся от этой конфигурации. Следовательно, если гипотеза космической цензуры нарушается уже для сферически-симметричных звезд, то утверждение ее всеобщности выглядит еще более сомнительным. Ученые продолжали исследовать несферический коллапс. В 1991 г. Стюарт Шапиро (Stuart L. Shapiro) из Иллинойского университета и Саул Тюкольский (Saul A. Teukolsky) из Корнуэльского университета представили расчеты, согласно которым несферические звезды коллапсировали бы с образованием обнаженных сингулярностей. Несколько лет спустя Анджей Кроляк (Andrzej Krolak) из Польской академии наук совместно с автором этой статьи также изучали несферический коллапс и также обнаружили обнаженные сингулярности. Напомним, что оба указанных исследования не учитывали давление газа.

Некоторые скептики высказывали сомнения, действительно ли такие ситуации являются общими. Вызовет ли небольшое изменение начальной конфигурации звезды внезапное появление горизонта событий, скрывающего сингулярность? Если

да, то тогда обнаженная сингулярность могла бы оказаться всего лишь побочным следствием используемых при расчетах приближений, а не физической реальностью. Некоторые экзотические сценарии с необычными формами материи действительно чувствительны к расчетам, но, согласно результатам автора этой статьи, голые сингулярности преимущественно устойчивы относительно малых возмущений начальных условий в звезде, что скорее указывает на их общность, чем надуманность.

Как победить цензуру

Нижеприведенные контрпримеры к гипотезе Пенроуза показывают, что космическая цензура не представляет собой всеобщий принцип. Физики не могут утверждать, что «коллапс любой массивной звезды приводит к созданию только черной дыры» или «любой физически реалистичный коллапс завершается ее появлением». Одни сценарии приводят к рождению черной дыры, а другие — к появлению обнаженной сингулярности. В некоторых моделях сингулярность видима только некоторое время, а затем сформировавшийся горизонт событий скрывает ее; в других же такая сингулярность

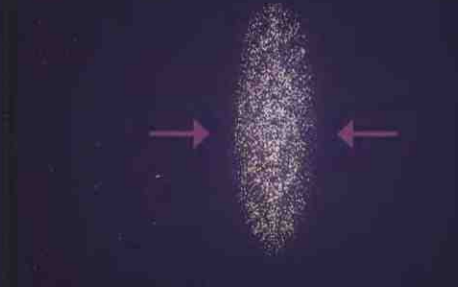
остаётся видимой всегда. Обычно голая сингулярность развивается в геометрическом центре коллапса, но это не всегда соответствует действительности, однако даже если это происходит, то сингулярность может распространяться в другие области. «Нагота» бывает разных видов: горизонт событий может скрыть сингулярность от настойчивого наблюдателя. В то же время если он при достаточно близком рассмотрении проникнет внутрь горизонта событий, то увидит сингулярность до того, как будет ею уничтожен. Обилие возможных вариантов просто сбивает с толку.

Автор этой статьи с коллегами выделили характерные особенности различных сценариев, приводящие или не приводящие к образованию горизонта событий. Особое внимание исследователи уделили роли неоднородностей и давлению газа. Согласно ОТО, гравитация есть сложный феномен — так, разные слои вещества подвергаются характерным смещениям. Если плотность коллапсирующей звезды велика настолько, что звезда не дает свету уйти, и к тому же неоднородна, то благодаря другим эффектам свет все-таки сможет вырваться. Сдвиг

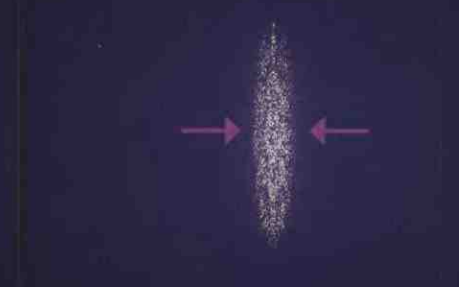
ГОЛАЯ СИНГУЛЯРНОСТЬ



1. Начальная конфигурация звезды напоминает мяч в американском футболе



2. Звезда коллапсирует симметрично относительно своей оси



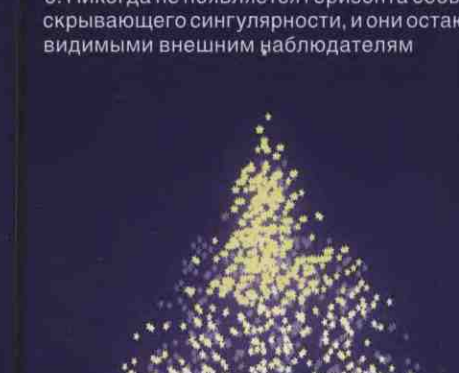
3. Звезда становится похожей на веретено



4. Хотя гравитация нарастает, она никогда не становится достаточно сильной для того, чтобы пленить фотоны и сформировать горизонт событий



5. Наибольшая плотность достигается на противоположных концах «веретена», где и формируются сингулярности



6. Никогда не появляется горизонта событий, скрывающего сингулярности, и они остаются видимыми внешним наблюдателям

вещества вблизи сингулярности может, например, вызвать мощную ударную волну, выбрасывающую вещество и излучение, т.е., по сути, привести к гравитационной буре, нарушающей процесс формирования горизонта событий.

Приступим к более детальному рассмотрению. Возьмем однородную звезду, пренебрегая давлением газа (давление изменяет детали процесса, но не влияет на его общее протекание). По мере течения коллапса напряженность гравитационного поля нарастает и сильно искривляет траектории движущихся объектов. Траектории фотонов также видоизменяются, и наступает такой момент, когда искривление настолько сильно, что свет больше не может уходить от коллапсирующей звезды. Область, в которой свет оказывается плененным, увеличивается, достигая стабильного размера, пропорционального массе звезды. Между тем за счет того, что плотность звезды однородна по пространственным координатам и меняется только во времени, звезда как целое одновременно разрушается в сингулярности. Пленение света происходит до этого момента, и, таким образом, сингулярность остается скрытой.

Теперь рассмотрим ту же самую ситуацию, предположив, что плотность падает с ростом расстояния от центра звезды. Можно сказать, что звезда в этом случае обладает структурой луковицы с концентрическими слоями вещества. Гравитационное поле действует на каждый из них и находится в зависимости от средней плотности материи внутри слоя. Из-за того, что наиболее плотные внутренние слои подвержены более сильной гравитации, они коллапсируют быстрее, чем внешние. Вся звезда не коллапсирует в сингулярность одновременно. Более глубокие слои коллапсируют быстрее, а затем один за другим — внешние.

Результатирующее запаздывание может отсрочить формирование горизонта событий. Если последний сформируется где угодно, то это произойдет в плотных внутренних слоях. Но если падение плотности с расстоянием происходит слишком быстро, то эти слои могут не набрать достаточной массы для пленения фотонов. Сформировавшаяся сингулярность будет голой. Таким образом, существует некий порог: если степень неоднородности мала и ниже некоторой критической, то черная дыра формируется; при наличии же

достаточных неоднородностей возникает голая сингулярность.

В других сценариях основной параметр — скорость коллапса. Данный эффект особенно нагляден в моделях, где звездный газ полностью переходит в излучение, и звезда становится гигантским огненным шаром — сценарий, впервые предложенный в 1940 г. индийским физиком П.С. Вайдья (P.C. Vaidya) в контексте моделирования излучающих звезд. В предложенной модели также существует порог: медленно коллапсирующие огненные шары становятся черными дырами, но при достаточно быстром коллапсе свет не оказывается плененным гравитацией, и рождается голая сингулярность.

Зыбкость

Возможность существования голых сингулярностей порождает много концептуальных проблем в научных исследованиях. Согласно общей договоренности, такие сингулярности сделали бы природу непредсказуемой в своей основе. Поскольку в сингулярности ОТО нарушается, данная теория не может предсказать, как поведут себя эти сингулярности. Джон Ирман (John Earman) из

МОЖНО ЛИ ВЗЛОМАТЬ ЧЕРНУЮ ДЫРУ?

Кроме как в процессе коллапса звезды, обнаженную сингулярность можно создать и другим способом: разрушить уже существующую черную дыру. Хотя это и выглядит невозможным, согласно уравнениям общей теории относительности (ОТО), горизонт событий может существовать только если черная дыра вращается не слишком быстро и ее электрический заряд не слишком велик. Большинство физиков полагают, что черная дыра препятствует возникновению скорости и заряда больших, чем определенные величины. Но некоторые считают, что черная дыра неизбежно погибнет, в результате чего горизонт событий рассеется, обнажив сингулярность.

Разогнать черную дыру нетрудно. Вещество попадает в нее, обладая угловым моментом вращения,

который заставляет черную дыру вращаться быстрее, как дверь-вертушку. Нарастание заряда сложнее, поскольку заряженная черная дыра отталкивает частицы заряда того же знака и притягивает частицы противоположного знака, таким образом становясь нейтральной. Но массовое падение вещества в черную дыру может нарушить наметившуюся тенденцию.

Фундаментальная характеристика черной дыры — ее способность поглощать в больших количествах окружающее вещество, за счет которого она растет, — могла бы стать причиной ее собственного разрушения. Исследователи продолжают дискуссии о том, сохранит ли себя черная дыра или разрушится, обнажив свою внутреннюю сингулярность

Питтсбургского университета как-то сказал, что из такой сингулярности могут появиться и болотная тина, и пропавшие носки; они точно магические области, в которых наука бессильна.

Коль скоро сингулярности остаются скрытыми горизонтом, произвол их поведения обуздан, и ОТО хорошо описывает пространство-время, по крайней мере, вне горизонта событий. Но если сингулярности могут быть голыми, то их непредсказуемость уничтожит предсказуемость и всей остальной Вселенной. Например, когда физики применяют ОТО к расчету орбиты Земли вокруг Солнца, они, в сущности, должны сделать допущение возможности того, что где-то во Вселенной сингулярность может породить гравитационный импульс, способный изменить траекторию движения нашей планеты.

Пока такое опасение беспочвенно. Не связанная с нарушением гипоте-

зы космической цензуры непредсказуемость и так присутствует в ОТО, поскольку эта теория разрешает путешествия во времени, в ходе которых образуются временные петли с непредвиденными исходами. В ОТО даже обычная черная дыра может стать непредсказуемой. Так, если в незаряженную черную дыру попадет электрический заряд, то пространство-время вокруг нее изменится и перестанет быть предсказуемым. Похожая ситуация возникает, когда черная дыра вращается: пространство-время перестает быть четко разделенным на пространство и время, и ученые не могут установить, как черная дыра эволюционировала с момента своего рождения. Только простейшая из простейших черных дыр, не обладающая ни зарядом, ни моментом вращения, полностью предсказуема.

Потеря предсказуемости и другие проблемы с черными дырами в действительности происходят из-за по-

явления сингулярностей; не имеет значения, скрыты они или нет. Решение этих задач, возможно, лежит в сфере квантовой гравитации, которая идет дальше ОТО и предлагает полное объяснение сингулярностей. Может быть доказано, что в этой теории все сингулярности обладают большой, но конечной плотностью. Голая сингулярность может быть своего рода «квантовой звездой», сверхплотным телом, управляемым законами квантовой гравитации. То, что казалось случайным, теперь может найти логичное объяснение.

Другая возможность — существование сингулярности с бесконечной плотностью, что необходимо принять как данность и что не объясняется квантовой гравитацией. Нарушение ОТО в сингулярности может и не означать несостоятельности теории самой по себе, а просто указывать на наличие особой точки пространства-времени. Сингулярность отмечает границу, где заканчивается физический мир. Мы можем полагать ее неким событием, а не объектом; моментом, когда коллапсирующее вещество достигает особой точки, являя собой нечто подобное Большому взрыву, только идущее в противоположную сторону.

В этом случае становятся бессмысленными вопросы о том, что выходит из голой сингулярности, — ничего, поскольку сингулярность есть момент времени, а не объект. То, что мы видим, находясь на некотором расстоянии, это не сама сингулярность, а некий процесс, проходящий в экстремальных условиях состояния вещества вблизи «события сингулярности», таких как ударные волны, вызванные неоднородностями в сверхплотной среде, или гравитационно-квантовые эффекты в окрестности этого события.

В дополнение к непредсказуемости, второй довод с неприязнью встречен многими физиками. Предварительно предположив сохранение гипотезы космической цензуры, ученые в течение нескольких десятилетий занимались формулированием различных законов, которым должна подчиняться черная дыра,

ОБ АВТОРЕ

Панкадж Джоши (Pankaj S. Joshi) — профессор физики Института Тата фундаментальных исследований в Мумбаи. Основная область его интересов — гравитация и космология. В свободное от работы время он совершает длительные пешие прогулки на природе, слушая индийскую и западную классическую музыку. Джоши живет недалеко от тех мест, которые были атакованы террористами в ноябре 2008 г.; во время атак он был дома и работал над этой статьей.

и которые должны быть универсальными. Но законы не свободны от значительных парадоксов. Например, согласно некоторым из них, в черную дыру попадает и уничтожается информация, что, в свою очередь, противоречит базовым принципам квантовой механики. Этот парадокс и другие затруднения возникают из-за наличия горизонта событий. Если его нет, то нет и проблем. Например, если звезда смогла бы излучить большую часть своей массы на поздних стадиях коллапса, то никакой информации не было бы уничтожено и не осталось бы сингулярности. В этом случае не понадобилась бы квантовая теория для объяснения сингулярностей, ОТО было бы достаточно.

Лаборатория для квантовой гравитации

Задолго до того как голые сингулярности превратились в проблему, физики нашли в них много полезного. Если сингулярности, сформировавшиеся в процессе гравитационного коллапса массивной звезды, видны внешнему наблюдателю, то они могли бы послужить лабораториями, пригодными для изучения гравитационно-квантовых эффектов. Формирование квантовой гравитации — такой как теории суперструн или петлевой квантовой гравитации — продвигается медленно с точки зрения наличия исходных наблюдательных данных, без которых практически невозможно ограничить себя какой-то одной теорией из множества возможных. Физики ищут такие исходные данные в ранней Вселенной, когда условия были настолько экстремальны, что доминировали гравитационно-квантовые эффекты.

Большой взрыв был уникальным событием. Если бы сингулярности могли быть голыми, они дали бы возможность астрономам наблюдать нечто похожее всякий раз при коллапсе массивной звезды.

Для исследования того, как голые сингулярности могли бы дать понимание процессам, иначе никак не наблюдаемым, автор этой статьи с кол-

РАЗНОВИДНОСТИ ЗВЕЗДНОГО КОЛЛАПСА

Подобно людям, звезды обладают своим жизненным циклом. Они рождаются в гигантских облаках пыли и галактического вещества в глубинах пространства, развиваясь и сияя миллионы лет, а потом неизбежно приходят к фазе распада и умирания. Звезда светит за счет сжигания своего внутреннего топлива, которое на ранних стадиях состоит преимущественно из водорода, потом из гелия и позже из тяжелых элементов. Каждая звезда поддерживает баланс между гравитацией, сгоняющей вещество к центру, и противоположно направленными силами давления вещества. Этот баланс удерживает звезду в равновесии до того момента, когда внутреннее топливо превращается в железо, которое, исходя из терминов ядерной физики, инертно. Силы гравитации преобладают над давлением, и звезда начинает сжиматься.

Когда наше Солнце израсходует свое топливо, его ядро сожмется под воздействием собственных гравитационных сил и по размерам станет не более Земли. Начиная с этого момента его существование будет подде-

рживаться быстро движущимися электронами, создающими так называемое давление вырожденного электронного газа. Результирующий объект будет называться белым карликом. Звезды, обладающие в 3–5 раз большими массами, чем Солнце, закончат свою жизнь в другом состоянии, в виде нейтронной звезды, в которой гравитация так сильна, что электроны вдавливаются в ядра атомов. Поддерживаемая давлением уже не электронов, а нейтронов нейтронная звезда достигает 10 км в диаметре.

Более массивные звезды не могут стать ни белыми карликами, ни нейтронными звездами, поскольку их давления уже недостаточно для компенсации гравитации. Даже если другие виды давления начнут играть роль, гравитационный коллапс все равно станет необратимым. Гравитация будет единственной определяющей силой, следовательно, финальное состояние звезды будет описываться только гравитационной теорией Эйнштейна, согласно которой финальное состояние есть сингулярность. Возникает вопрос: видима она или нет?

легами смоделировал сжатие звезды в обнаженную сингулярность с учетом эффектов, предсказываемых петлевой квантовой гравитацией. Согласно этой теории, пространство обладает атомарной структурой, которая проявляет себя, когда вещество становится достаточно плотным; в результате образуются силы отталкивания, упреждающие бесконечно большой рост плотности (см.: Боджовальд М. В погоне за скачущей Вселенной // ВМН, № 1, 2009). В предлагаемой модели такая сила отталкивания рассеивает вещество звезды и не дает образовываться сингулярности. Около четверти массы всей звезды выбрасывается в последнюю долю микросекунды. Сразу после этого удаленный наблюдатель смог бы увидеть внезапное падение интенсивности излучения коллапсирующей звезды — прямой результат гравитационно-квантовых эффектов.

Взрыв мог бы вызвать возбуждение гамма-лучей сверхвысоких энергий, космических лучей и других частиц, например нейтрино. Оборудование, задействованное в грядущих экспериментах, таких как Космическая обсерватория по изучению экстремальных процессов Вселенной, модуль МКС, чей ввод в эксплуатацию планируется в 2013 г., сможет обладать необходимой чувствитель-

ностью для регистрации подобного излучения. Поскольку детали этого процесса зависят от типа гравитационно-квантовой теории, наблюдения смогли бы помочь выявить наиболее реалистичные из них.

Как подтверждение, так и опровержение гипотезы космической цензуры, несомненно, оказало бы значительное влияние на науку, поскольку проблема голых сингулярностей сосредоточивает вокруг себя не один аспект современной физики. Из теоретических исследований следует, что космическая цензура не сохраняется в абсолютной форме, как это предполагалось ранее. Сингулярности скрыты горизонтом событий только при некоторых обстоятельствах. Остается вопрос: всегда ли эти условия выполняются в природе? Если да, то физики без сомнения полюбят то, что ранее вызывало у них опасения. ■

Перевод: О.С. Сажина

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Black Holes, Naked Singularities and Cosmic Censorship. Stuart L. Shapiro and Saul A. Teukolsky in *American Scientist*, Vol. 79, No. 4, pages 330–343; July/August 1991.
- Black Holes and Time Warps. Kip S. Thorne. W.W. Norton, 1994.

НОВЫЙ рассвет

ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАКЕТ

Эффективные плазменные электрореактивные двигатели открывают новые горизонты в исследованиях пограничных областей Солнечной системы

Одинокий во мраке космоса, зонд *Dawn* («Рассвет») NASA несетя за орбиту Марса к поясу астероидов. Он должен собрать новые сведения о начальных этапах образования Солнечной системы: исследовать астероиды Весту и Цереру, представляющие собой крупнейшие остатки эмбрионов планет, в результате столкновения и взаимодействия которых друг с другом около 4,5–4,7 млрд лет назад сформировались сегодняшние планеты.

Однако этот полет примечателен не только своей целью. *Dawn*, стартовавший в октябре 2007 г., оснащен плазменным двигателем, способным сделать реальностью полеты на большие расстояния. На сегодняшний день существует несколько типов таких двигателей. Тяга в них создается

посредством ионизации и ускорения электрическим полем заряженных частиц, а не путем сжигания жидкого или твердого химического топлива, как в обычных.

Создатели зонда *Dawn* из Лаборатории реактивной тяги NASA выбрали плазменный двигатель, поскольку для достижения пояса астероидов ему потребуется в десять раз меньше рабочего вещества, чем двигателю на химическом топливе. Традиционный ракетный двигатель позволил бы зонду *Dawn* достичь либо Весты, либо Цереры, но не обеих.

Электроракетные двигатели быстро завоевывают популярность. Недавний полет космического зонда *Deep Space 1* NASA к комете стал возможным благодаря применению электрической тяги. Плазменные двигатели

создавали также тягу, требовавшуюся для попытки посадки японского зонда *Hayabusa* на астероид и для полета космического аппарата *SMART-1* Европейского космического агентства к Луне. В свете продемонстрированных преимуществ разработчики в США, Европе и Японии при планировании дальних полетов выбирают именно такие двигатели для будущих миссий по исследованию Солнечной системы и поиску за ее пределами планет, подобных Земле. Плазменные двигатели также позволяют превратить космический вакуум в лабораторию для фундаментальных физических исследований.

Близится эра долгих полетов

Возможность использования электричества при создании двигателей для космических аппаратов рассматривалась еще в первом десятилетии XX в. В середине 1950-х гг. Эрнст Штулингер (Ernst Stuhlinger), член легендарной команды немецких ракетчиков Вернера фон Брауна (Wernher von Braun), которая возглавила космическую программу США, перешел от теории к практике. Несколько годами позднее инженеры Гленновского исследовательско-

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- В обычных ракетных двигателях тяга возникает в результате сжигания химического топлива. В электрореактивных она создается посредством ускорения электрическим или магнитным полем облака заряженных частиц или плазмы.
- Несмотря на то что электрические ракетные двигатели характеризуются гораздо меньшей тягой, они позволяют при той же массе топлива в итоге разогнать космический аппарат до гораздо большей скорости.
- Способность достигать высоких скоростей и высокий КПД использования рабочего вещества («топлива») делают электрореактивные двигатели перспективными для дальних космических полетов.



На рисунке художник изобразил приближение космического зонда *Dawn* NASA, снабженного электрическим ракетным двигателем ионного типа, к астероиду Веста. Это первый объект исследования для зонда. Следующим будет астероид Церера, видимый на заднем плане (яркая точка у правого верхнего угла рисунка). Запас топлива, который способна нести обычная ракета, позволил бы достичь только какого-либо одного из этих двух объектов

го центра NASA (который тогда назывался Льюисовским) создали первый работоспособный плазменный двигатель. В 1964 г. таким двигателем, который использовался для коррекции орбиты перед входением в плотные слои атмосферы, был оснащен аппарат, совершивший суборбитальный полет в рамках программы *Space Electric Rocket Test*.

Концепция плазменных электро-реактивных двигателей независимо разрабатывалась и в СССР. С середины 1970-х гг. советские инженеры использовали такие двигатели для обеспечения ориентации и стабилизации геостационарной орбиты телекоммуникационных спутников, поскольку они расходуют малое количество рабочего вещества.

Ракетные реалии

Достоинства плазменных двигателей особенно впечатляют в сравнении с недостатками обычных ракетных двигателей. Когда люди представляют себе стремящийся сквозь черную пустоту к далекой планете космический корабль, перед их мысленным взором возникает длинный факел пламени из сопла двигателей. На деле все вы-

глядит совершенно иначе: почти все топливо расходуется в первые минуты полета, так что дальше корабль движется к своей цели по инерции. Ракетные двигатели на химическом топливе поднимают космические аппараты с поверхности Земли и позволяют корректировать траекторию в ходе полета. Но для исследования дальнего космоса они непригодны, поскольку для них требуется такое большое количество топлива, поднять которое с Земли на орбиту практичным и экономически приемлемым способом не представляется возможным.

В длительных полетах, чтобы достичь высокой скорости и точности выхода на заданную траекторию без дополнительных затрат топлива, зондам приходилось отклоняться от своего пути в направлении планет или их спутников, способных придать ускорение в нужном направлении за счет сил тяготения (эффект гравитационной рогатки, или маневр с использованием сил тяготения). Такой «окольный» маршрут ограничивает возможности запуска довольно короткими временными окнами, гарантирующими точное прохождение мимо небесного тела,

которое должно играть роль гравитационного ускорителя.

Для проведения длительных исследований космический аппарат должен иметь возможность скорректировать траекторию движения, выйти на орбиту вокруг объекта и тем обеспечить условия выполнения поставленной задачи. Если совершить маневр не удастся, то время, доступное для наблюдений, будет очень коротким. Так, космический зонд *New Horizons* NASA, запущенный в 2006 г., приблизившись к Плутону спустя девять лет, сможет наблюдать его в очень короткий промежуток времени, не превышающий одних земных суток.

Уравнение движения ракеты

Почему же до сих пор не был предложен способ отправить в космос достаточное количество топлива? Что препятствует решению данной проблемы?

Попробуем разобраться. Для объяснения используем основное уравнение движения ракеты — формулу Циолковского, которую специалисты применяют при расчете массы топлива, необходимой для данной задачи. Вывел ее в 1903 г. русский ученый К.Э. Циолковский, один из

ХИМИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РАКЕТЫ

Химические и электрические системы создания тяги подходят для разных типов задач. Химические (слева) быстро создают большую тягу и поэтому позволяют быстро разогнаться до больших скоростей, но расходуют очень большие количества топлива. Такие характеристики подходят для полетов на небольшие расстояния.

Электрические ракетные двигатели (справа), в которых рабочим телом (топливом) служит плазма, т.е. ионизированный газ, развивают гораздо меньшую тягу, но расходуют несравненно меньше топлива, что позволяет им работать намного дольше. А в космической среде при отсутствии сопротивления движению малая сила, действующая длительное время, позволяет достичь таких же и даже более высоких скоростей. Эти характеристики делают плазменные ракеты подходящими для дальних полетов к нескольким пунктам назначения



мого маневра. Для данной ракетной технологии (обеспечивающей данную скорость истечения) уравнение движения ракеты позволяет рассчитать массу топлива, необходимую для достижения требуемого значения ΔV , т.е. для выполнения необходимого маневра. Таким образом, ΔV можно рассматривать как «цену» задачи, поскольку затраты на вывод топлива на траекторию полета обычно составляют основную часть затрат на выполнение всей задачи.

В обычных ракетах на химическом топливе скорость истечения продуктов сгорания невелика (3–4 км/с). Уже одно это обстоятельство ставит под сомнение целесообразность их применения для дальних полетов. Кроме того, форма уравнения движения ракеты показывает, что с увеличением ΔV доля топлива в начальной массе космического аппарата («массовая доля топлива») растет экспоненциально. Следовательно, в аппарате для дальних полетов, требующих большого значения ΔV , на топливо придется почти вся стартовая масса.

Рассмотрим несколько примеров. В случае полета к Марсу с низкой околоземной орбиты требуемое значение ΔV составляет около 4.5 км/с. Из уравнения движения ракеты следует, что массовая доля топлива, необходимая для осуществления такого межпланетного перелета, составляет больше 2/3. Для полетов в более далекие области Солнечной системы, например к внешним планетам, требуется ΔV от 35 до 70 км/с. На долю топлива в обычной ракете придется отвести 99.98% стартовой массы. При этом для оборудования или иной полезной нагрузки места не останется. По мере того как пунктами назначения космических аппаратов становятся все более далекие области Солнечной системы, двигатели на химическом топливе будут становиться все более бесперспективными. Возможно, инженеры найдут способ существенно увеличить скорость истечения продуктов сгорания. Но это весьма непростая задача. Потребуется очень высокая температура горения, что ограничивается как количеством энергии, выделяемой

отцов ракетной техники и космонавтики.

По сути, данная формула математически описывает тот интуитивно осознаваемый факт, что чем выше скорость истечения продуктов сгорания из ракеты, тем меньше топлива нужно для осуществления данного маневра. Представьте себе подающего в бейсболе (ракетный двигатель), стоящего с корзиной мячей (топлива) на скейтборде (космическом аппарате). Чем выше скорость, с которой он бросает мячи назад (скорость истечения продуктов сгорания), тем с большей скоростью будет катиться скейтборд после того, как он бросит последний мяч, или, что эквивалентно,

тем меньше мячей (топлива) потребуются ему для увеличения скорости скейтборда на заданную величину. Ученые обозначают это приращение скорости символом ΔV .

Более конкретно: формула связывает массу топлива, необходимую ракете для выполнения конкретной задачи в дальнем космосе, с двумя ключевыми величинами: скоростью истечения продуктов сгорания из сопла ракеты и значением ΔV , достижимым в результате сжигания данного количества топлива. Значение ΔV соответствует энергии, которую должен затратить космический аппарат для изменения своего движения по инерции и выполнения требу-

ОБ АВТОРЕ

Эдгар Чуэйри (Edgar Y. Choueiri) преподает астронавтику и прикладную физику в Принстонском университете, где руководит также Лабораторией электрической тяги и плазмодинамики (<http://alfven.princeton.edu>) и университетской программой технической физики. Кроме того, он разрабатывает математические методы, которые позволили бы точно записывать и воспроизводить музыку в трех измерениях.

в результате химической реакции, так и жаропрочностью материала стенок ракетного двигателя.

Плазменное решение

Плазменные двигатели позволяют получить гораздо более высокие скорости истечения. Тяга создается за счет ускорения плазмы — частично или полностью ионизированного газа — до скоростей, существенно превышающих предельные для обычных газодинамических двигателей. Плазма создается посредством сообщения газу энергии, например при облучении его лазером, микро- или радиочастотными волнами, либо с помощью сильных электрических полей. Избыточная энергия отрывает электроны от атомов или молекул, которые в результате этого приобретают положительный заряд, а оторванные электроны получают возможность свободно двигаться в газе, благодаря чему ионизированный газ становится гораздо лучшим проводником тока, чем металлическая медь. Поскольку плазма содержит заряженные частицы, движение которых в большой степени определяется электрическим и магнитным полями, воздействие на нее электрическим или электромагнитным полями способно ускорять ее компоненты и выбрасывать их в качестве рабочего вещества для создания тяги. Необходимые поля можно создавать с помощью электродов и магнитов, используя внешние антенны или проволочные катушки, либо путем пропускания тока через плазму.

Энергию для создания и ускорения плазмы обычно получают от солнечных батарей. Но для космических аппаратов, направляющихся за орбиту Марса, потребуются атомные источники энергии, т.к. при удалении от Солнца интенсивность потока солнечной энергии уменьшается. Сегодня в автоматических космических зондах используются термоэлектрические устройства, нагреваемые за счет энергии распада радиоактивных изотопов, но для более продолжительных полетов потребуются ядерные или даже термоядерные реакторы. Включаться они будут только после вывода космического аппа-

рата на стабильную орбиту, находящуюся на безопасном расстоянии от Земли, до начала работы ядерное топливо должно поддерживаться в инертном состоянии.

До уровня практического применения разработаны три типа электроракетных двигателей. Шире всего применяется ионный двигатель, которым и был оснащен зонд *Dawn*.

Ионный двигатель

Идею ионного двигателя, одну из наиболее успешных концепций электрического метода создания тяги, выдвинул сто лет назад американский пионер ракетной техники Роберт Годдард (Robert H. Goddard), будучи еще аспирантом Вустерского политехнического института. Ионные двигатели позволяют получать скорости истечения от 20 до 50 км/с (*врезка на следующей стр.*).

В наиболее распространенном варианте такой двигатель получает энергию от панелей фотоэлементов с запорным слоем. Он представляет собой короткий цилиндр размерами немного больше ведра, установленный в кормовой части космического аппарата. Из «топливного» бака в него подается газообразный ксенон, который поступает в ионизационную камеру, где электромагнитное поле отрывает от атомов ксенона электроны, создавая плазму. Ее положительные ионы вытягиваются и разгоняются до очень высоких скоростей электрическим полем между двумя сетчатыми электродами. Каждый положительный ион плазмы испытывает сильное притяжение к отрицательному электроду, расположенному в задней части двигателя, и поэтому ускоряется в направлении назад.

Истечение положительных ионов создает на космическом аппарате отрицательный заряд, который по мере накопления будет притягивать вылетевшие ионы обратно к аппарату, сводя тягу к нулю. Чтобы это предотвратить, используют внешний источник электронов (отрицательный электрод или электронную пушку), вводящий электроны в поток истекающих ионов. Таким образом обеспечивается нейтрализация истекающего по-

НАЧАЛО ЭРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

1903 г.: К.Э. Циолковский вывел уравнение движения ракеты, широко используемое для расчета расхода топлива в космических полетах. В 1911 г. он предположил, что электрическое поле может ускорять заряженные частицы для создания реактивной тяги

1906 г.: Роберт Годдард рассмотрел использование электростатического ускорения заряженных частиц для создания реактивной тяги. В 1917 г. он создал и запатентовал двигатель — предшественник современных ионных двигателей

1954 г.: Эрнст Штулингер показал, как оптимизировать характеристики ионного двигателя

1962 г.: Опубликовано первое описание холловского двигателя — более мощного типа плазменных двигателей, — созданного на основе работ советских, европейских и американских исследователей

1962 г.: Адриано Дукасти (Adriano Ducati) открыл принцип действия магнитоплазодинамического (МПД) двигателя — самого мощного типа плазменных двигателей

1964 г.: Космический аппарат *SERT I* NASA провел первое успешное испытание ионного двигателя в космосе

1972 г.: Советский спутник «Метеор» совершил первый космический полет с использованием холловского двигателя

1999 г.: Космический зонд *Deep Space 1* Лаборатории неактивной тяги NASA продемонстрировал первое успешное использование ионного двигателя в качестве главной двигательной установки для преодоления земного тяготения при старте с околоземной орбиты

тока, в результате чего космический аппарат остается электрически нейтральным.

Сегодня коммерческие космические аппараты (в основном — спутники связи на геостационарных орбитах) оснащены десятками ионных двигателей, которые используются для коррекции их положения на орбите и ориентации.

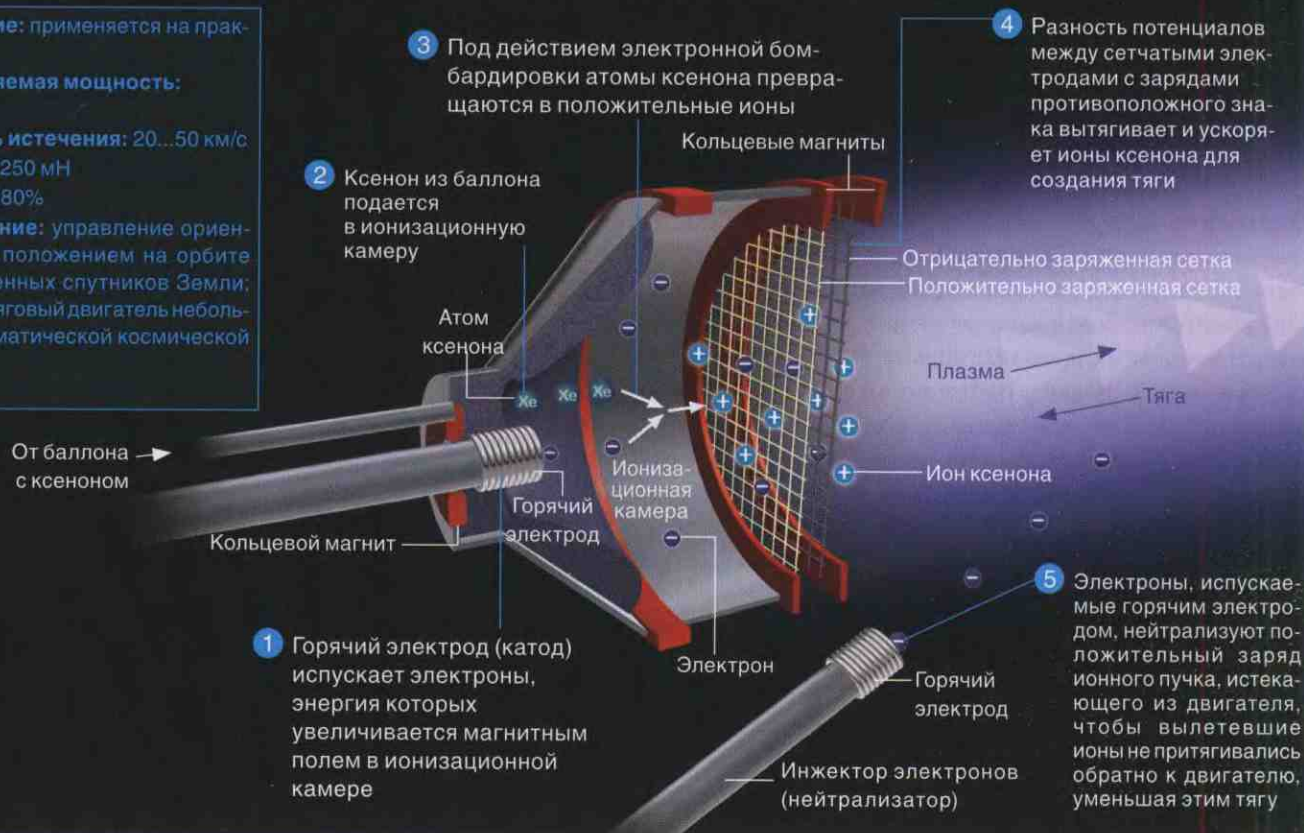
Первым в мире космическим аппаратом, в котором для преодоления земного тяготения при старте с околоземной орбиты была использова-

ПРОВЕРЕННАЯ КОСМИЧЕСКАЯ РАБОЧАЯ ЛОШАДКА

В данном двигателе плазма как рабочее вещество создается путем бомбардировки нейтрального газа электронами, испускаемыми с горячего катода. Образующиеся ионы вытягиваются из плазмы и ускоряются в сторону кормы космичес-

кого аппарата электрическим полем, которое создается между сетками, несущими заряды противоположных знаков. Истечение ионов создает тягу в направлении, противоположном направлению их истечения

Состояние: применяется на практике
Потребляемая мощность: 1...7 кВт
Скорость истечения: 20...50 км/с
Тяга: 20...250 мН
КПД: 60...80%
Применение: управление ориентацией и положением на орбите искусственных спутников Земли; главный тяговый двигатель небольшой автоматической космической станции



на электрическая система создания тяги, стал в конце XX в. зонд *Deep Space 1*. Чтобы пролететь сквозь пылевой хвост кометы Боррелли, ему потребовалось увеличить скорость на 4,3 км/с, на что было израсходовано менее 74 кг ксенона (примерно такую массу имеет полная пивная бутылка). Это самое большое на сегодня приращение скорости, полученное каким-либо космическим аппаратом с помощью тяги, а не гравитационной рогатки. *Dawn* вскоре должен превзойти рекорд примерно на 10 км/с. Инженеры Лаборатории реактивного движения недавно продемонстрировали ионные двигатели, способные непрерывно работать больше трех лет.

Характеристики электроракетных двигателей определяются не только скоростью истечения заряженных частиц, но и плотностью тяги — значением силы тяги, приходящимся на единицу площади отверстия, через

которое эти частицы истекают. Возможности ионных и аналогичных электростатических двигателей ограничиваются объемным зарядом, который налагает очень низкий предел на достижимую плотность тяги. Дело в том, что по мере прохождения положительных ионов через электростатические сетки двигателя между ними неизбежно накапливается положительный заряд, который уменьшает напряженность электрического поля, ускоряющего ионы.

Из-за этого тяга двигателя зонда *Deep Space 1* эквивалентна примерно весу листа бумаги, что очень далеко от тяги двигателей в научно-фантастических фильмах. Для разгона автомобиля с помощью такой силы от нуля до 100 км/ч (при отсутствии сопротивления движению: автомобиль, стоящий на земле, такая сила даже не сдвинет с места. — Прим. пер.) потребовалось бы больше двух суток. В космическом вакууме, который не

оказывает сопротивления, сообщить аппарату большую скорость способна даже очень малая сила, если она действует достаточно долго.

Холловский двигатель

Вариант плазменного двигателя, называемый холловским (врезка на стр. 39), свободен от ограничений, налагаемых объемным зарядом, и поэтому способен разгонять космический аппарат до высоких скоростей быстрее, чем ионный двигатель сравнимого размера (благодаря большей плотности тяги). На Западе данная технология получила признание в начале 1990-х гг., на три десятилетия позже начала разработок в бывшем СССР.

Принцип действия двигателя основан на использовании фундаментального эффекта, открытого в 1879 г. Эдвином Холлом (Edwin H. Hall), который был тогда аспирантом в Университете Джонса Хопкинса. Холл показал, что в проводнике, в котором со-

зданы взаимно перпендикулярные электрическое и магнитное поля, возникает электрический ток (называемый холловским) в направлении, перпендикулярном обоим этим полям.

В холловском двигателе плазма создается электрическим разрядом между внутренним положительным электродом (анодом) и наружным отрицательным электродом (катодом). Разряд отрывает электроны от нейтральных атомов газа в промежутке между электродами. Образующаяся плазма ускоряется в направлении выходного отверстия цилиндрического двигателя силой Лоренца, которая возникает в результате взаимодействия приложенного радиального магнитного поля с электрическим током (в данном случае — холловским), который течет в азимутальном направлении, т.е. вокруг центрального электрода. Холловский ток создается движением электронов в электрическом и магнитном полях. В зависимости от располагаемой мощности скорости истечения могут составлять от 10 до 50 км/с.

Этот тип плазменного двигателя свободен от ограничений, налагаемых объемным зарядом, поскольку в нем ускоряется вся плазма (как положительные ионы, так и отрицательные электроны). Поэтому достижимая плотность тяги и, следовательно, ее сила (а значит, и потенциально достижимое значение ΔV) оказываются во много раз выше, чем у ионного двигателя таких же размеров. На спутниках на околоземных орбитах уже работает больше 200 холловских двигателей. И именно такой двигатель был использован Европейским космическим агентством для экономичного разгона космического аппарата SMART-1 при полете к Луне.

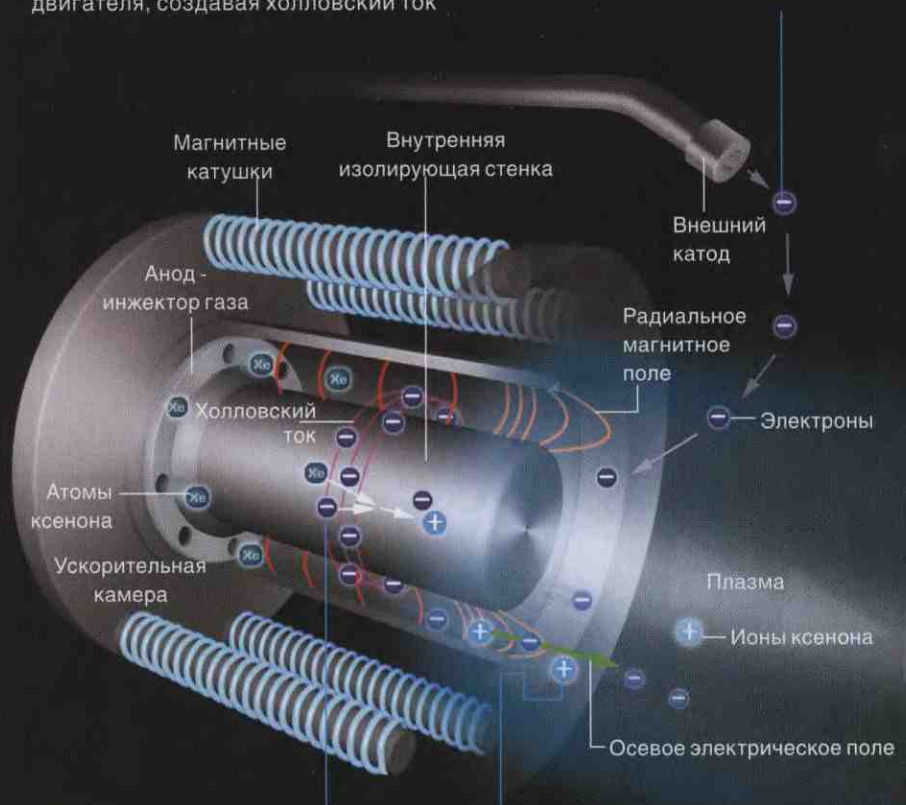
Размеры холловских двигателей довольно малы, и инженеры пытаются создать такие устройства, чтобы к ним можно было подводить более высокие мощности, необходимые для получения высоких скоростей истечения и значений силы тяги.

Ученые из Лаборатории физики плазмы Принстонского университета достигли определенных успехов, установив на стенках холловского

Новейший тип плазменного двигателя

В этом устройстве тяга создается с помощью так называемого холловского тока, пересекающего радиальное магнитное поле. Их взаимодействие заставляет электроны обращаться вокруг оси двигателя. Эти электроны выбивают электроны из атомов ксенона, создавая ионы ксенона, которые осевое электрическое поле ускоряет в направлении выходного отверстия двигателя. Такой двигатель позволяет получить более высокую плотность тяги, чем ионный, поскольку в истекающем потоке содержатся и положительные ионы, и электроны, что предотвращает накопление объемного заряда, уменьшающего напряженность ускоряющего электрического поля

- 1 Разность потенциалов между внешним катодом (отрицательным) и внутренним анодом (положительным) создает в ионизационной камере преимущественно осевое электрическое поле
- 2 Горячий катод испускает электроны. Некоторые из них дрейфуют к аноду. Когда электроны попадают в камеру, сочетание радиального магнитного и осевого электрического полей заставляет их обращаться вокруг оси двигателя, создавая холловский ток



- 3 Газообразный ксенон подается через анод-инжектор в кольцевую ускорительную камеру, где обращающиеся по кругу электроны сталкиваются с атомами ксенона, превращая их в положительные ионы
- 4 Плазма (состоящая из положительных ионов и электронов) ускоряется в направлении кормы космического аппарата электромагнитными силами, которые возникают в результате взаимодействия преимущественно радиального магнитного поля с холловским током

Состояние: применяется на практике
Потребляемая мощность: 1,35...10 кВт
Скорость истечения: 10...50 км/с
Тяга: 40...600 мН
КПД: 45...60%

Применение: управление ориентацией и положением на орбите искусственных спутников Земли; главный тяговый двигатель автоматической космической станции среднего размера

БУДУЩЕЕ ПЛАЗМЕННОЙ ТЯГИ

Для ускорения плазмы с целью создания тяги в двигателе используется электромагнитная сила Лоренца (зеленые стрелки), направленная в основном вдоль оси. Создается она в результате взаимодействия преимущественно радиального электрического тока (красные стрелки) с круговым магнитным полем (голубая окружность)

Состояние: испытан в полетах, но для практического применения еще не готов

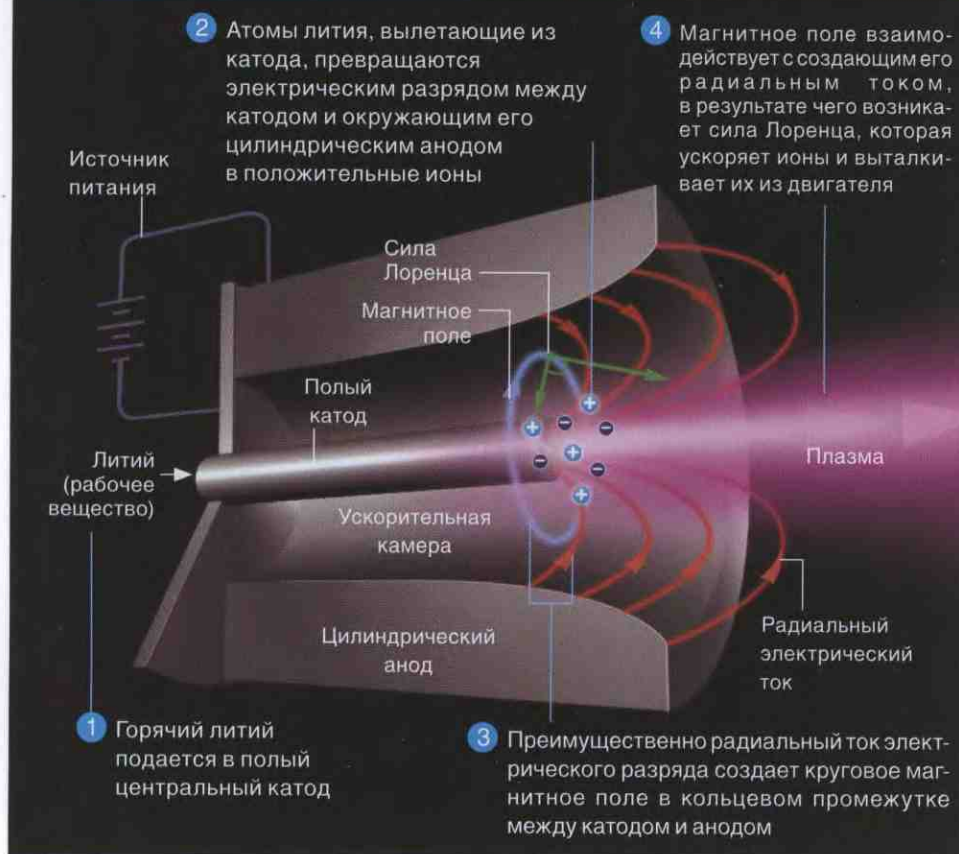
Потребляемая мощность: 100...500 кВт

Скорость истечения: 15...60 км/с

Тяга: 2,5...25 Н

КПД: 40...60%

Применение: главный тяговый двигатель для тяжелых грузовых и пилотируемых космических кораблей; для практического применения еще не готов



двигателя секционированные электроды, которые формируют электрическое поле таким образом, чтобы сфокусировать плазму в узкий выходной пучок. Конструкция уменьшает бесполезный неосевой компонент тяги и позволяет увеличить ресурс двигателя благодаря тому, что плазменный пучок не соприкасается со стенками двигателя. Немецкие инженеры достигли примерно таких же результатов, применив магнитные поля особой конфигурации. А исследователи Стэнфордского университета показали, что покрытие стенок двигателя прочным поликристал-

лическим алмазом значительно повышает их стойкость к эрозии под действием плазмы. Все эти усовершенствования сделали холловские двигатели пригодными для дальних космических полетов.

Двигатель следующего поколения

Один из способов дальнейшего повышения плотности тяги состоит в увеличении общего количества плазмы, ускоряемой в двигателе. Но с подъемом плотности плазмы в холловском двигателе растет частота соударений электронов с атомами и ионами, что

мешает электронам переносить холловский ток, необходимый для ускорения. Использовать более плотную плазму позволяет магнитоплазодинамический (МПД) двигатель, в котором вместо холловского тока используется ток, направленный в основном вдоль электрического поля (врезка слева) и в гораздо меньшей степени подверженный разрушению из-за столкновений с атомами.

В общих чертах МПД-двигатель состоит из центрального катода, расположенного внутри цилиндрического анода большего размера. Газ (обычно пары лития) подается в кольцевой промежуток между катодом и анодом, где ионизируется электрическим током, текущим в радиальном направлении от катода к аноду. Ток создает азимутальное магнитное поле (огибающее центральный катод), а взаимодействие поля и тока порождает силу Лоренца, создающую тягу.

МПД-двигатель размером с обычное ведро способен перерабатывать около мегаватта мощности от солнечного или ядерного источника и позволяет получать скорости истечения от 15 до 60 км/с. Поистине, мал да удал.

Еще одно достоинство МПД-двигателя — возможность дросселирования: скорость истечения и тягу в нем можно регулировать, изменяя силу тока или расход рабочего вещества. Это дает возможность менять тягу двигателя и скорость истечения применительно к потребности оптимизации траектории полета. Интенсивные исследования процессов, ухудшающих характеристики МПД-двигателей и влияющих на срок их службы, в частности плазменной эрозии, нестабильностей плазмы и потерь мощности в ней, позволили создать новые двигатели с высокими характеристиками. В качестве рабочих веществ в них используются пары лития или бария. Атомы этих металлов легко ионизируются, что уменьшает внутренние потери энергии в плазме и дает возможность поддерживать более низкую температуру катода. Применение жидких металлов в качестве рабочих веществ и необычная конструкция катода с каналами, изменяющими характер взаимодействия

СОЛНЕЧНАЯ И ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОРЕАТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Для полетов в пределах внутренней части Солнечной системы, где интенсивность излучения Солнца велика, достаточную электрическую мощность для плазменных двигателей можно получать от солнечных батарей. Но для полетов к внешним планетам Солнечной системы в общем случае потребуются ядерные источники энергии. Для больших, тяжелых космических аппаратов понадобится ядерный реактор, маленькие аппараты можно оснастить термоэлектрическими генераторами, нагреваемыми теплом, выделяющимся при распаде радиоактивных изотопов



электрического тока с его поверхностью, помогли существенно уменьшить эрозию катода и создать более надежные МПД-двигатели.

Группа ученых из академических организаций и NASA недавно завершила разработку новейшего «литиевого» МПД-двигателя под названием $\alpha 2$, потенциально способного доставить к Луне и Марсу космический аппарат с ядерной силовой установкой, несущий большую полезную нагрузку и людей, а также обеспечить полеты автоматических космических станций к внешним планетам Солнечной системы.

Черепаша побеждает

Ионный, холловский и магнитоплазмосиноплазмодинамический — три типа плазменных двигателей, уже нашедших практическое применение. За последние десятилетия исследователями предложено много перспективных вариантов. Разрабатываются двигатели, работающие в импульсном и в непрерывном режиме. В одних плазма создается с помощью электрического разряда между электродами, в других — индуктивным способом с помощью катушки или антенны. Различаются и механизмы ускорения плазмы: с использованием силы Лоренца, путем введения плазмы в создаваемые магнитным спо-

собом токовые слои, или с помощью бегущей электромагнитной волны. В одном из типов даже предполагается выбрасывать плазму через невидимые «ракетные сопла», создаваемые с помощью магнитных полей.

Во всех случаях плазменные ракетные двигатели набирают скорость медленнее обычных. Тем не менее благодаря парадоксу «чем медленнее, тем быстрее» они позволяют достичь далеких целей в более короткий срок, так как в итоге разгоняют космический аппарат до скорости значительно большей, чем двигатели на химическом топливе при той же массе топлива. Это позволяет избежать траты времени на отклонения к телам, обеспечивающим эффект гравитационной рогатки. Как в знаменитой истории о медлительной черепахе, которая в итоге обгоняет зайца, в «марафонских» полетах, которых в грядущую эру исследования дальнего космоса будет совершаться все больше, черепаха победит.

Сегодня самые передовые плазменные двигатели способны обеспечить ΔV до 100 км/с. Этого вполне достаточно для совершения полетов к внешним планетам за разумное время. Один из самых впечатляющих проектов в области исследования дальнего космоса предусматривает доставку

на Землю образцов грунта с Титана — самого крупного спутника Saturna, имеющего, по предположениям ученых, атмосферу, очень похожую на ту, которая окутывала Землю миллиарды лет назад.

Образец с поверхности Титана предоставит ученым редкую возможность поиска признаков химических предшественников жизни. Ракетные двигатели на химическом топливе делают такую экспедицию неосуществимой. Использование гравитационных рогаток увеличило бы время полета более чем на три года. А зонд с «маленьким, да удаленьким» плазменным двигателем сможет совершить такое путешествие значительно быстрее. ■

Перевод: И.Е. Сацевич

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Benefits of Nuclear Electric Propulsion for Outer Planet Exploration. G. Woodcock et al. American institute of Aeronautics and Astronautics, 2002.
- Electric Propulsion. Robert G. Jahn and Edgar Y. Choueiri in Encyclopedia of Physical Science and Technology. Third edition. Academic Press, 2002.
- A Critical History of Electric Propulsion: The First 50 Years (1906–1956). Edgar Y. Choueiri in Journal of Propulsion and Power, Vol. 20, No. 2, pages 193–203; 2004.



Пол Ричардс и Вон Юнг Ким

МОНИТОРИНГ ядерных взрывов

Методы, позволяющие отследить проведение испытаний ядерного оружия, стали столь эффективными и надежными, что ни одно государство не сможет в тайне произвести взрыв ядерного устройства военного назначения

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Современный сейсмический мониторинг дает возможность обнаружить ядерный взрыв мощностью от килотонны и выше в любой точке Земли. Во многих регионах планеты можно выявить и взрывы гораздо меньшей мощности.
- Президент Барак Обама, судя по всему, готов предложить Сенату США пересмотреть решение 1999 г. по поводу неучастия в Договоре о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ).
- Противники подписания договора аргументируют это опасениями, что некоторые страны — участницы могут не соблюдать принятых обязательств, проводя ядерные испытания тайно, и таким образом поставить под угрозу остальные подписавшие документ государства.
- Однако соображение, что факт секретных ядерных испытаний может не быть выявлен, сегодня представляется безосновательным.

Как президент, я хочу обратиться к Сенату с тем, чтобы он как можно скорее ратифицировал Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ), затем я намерен предпринять дипломатические усилия и привлечь страны, которые должны ратифицировать договор, чтобы он вступил в силу.

Барак Обама, 10 сентября 2008 г.

Когда эта статья готовилась к печати, Иран в рамках своей ядерной программы быстро наращивал мощности по обогащению урана. Серия террористических актов, которым подвергся Мумбаи в ноябре прошлого года, вновь вызвала к жизни призрак «региональной ядерной войны» между Индией и Пакистаном, которая не только унесла бы жизни десятков миллионов граждан обеих стран, но и стала бы причиной серьезных

3 июля 1970 г. Франция произвела взрыв ядерной бомбы на атолле Муруроа во Французской Полинезии. Взрывы в атмосфере теперь запрещены договором и относительно легко регистрируются. На сегодняшний день основные усилия сосредоточены на совершенствовании мониторинга подземных взрывов

изменений климата во всем мире. Северная Корея присоединилась к ядерному клубу 9 октября 2006 г. после первого успешного взрыва ядерного устройства на основе реакции деления. Имеются сведения, что там накоплено достаточно оружейного урана, чтобы изготовить полдюжины атомных бомб. Восемь стран открыто провели испытания ядерного оружия. То, что им обладает также и Израиль, почти не вызывает сомнений. Министерство национальной безопасности Соединенных Штатов и соответствующие органы во всем мире приводят в ужас мысль о том, что ядерное оружие может попасть в руки террористов.

Вместе с тем есть надежда на ослабление напряженности в области ядерных проблем. К концу 2008 г. 180 стран подписали Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ). Этот договор был принят Генеральной ассамблеей ООН в сентябре 1996 г. и сразу же подписан президентом Биллом Клинтоном и многими другими мировыми лидерами. Он нацелен на ограничение дальнейшего совершенствования ядерного оружия странами, уже им обладающими, а также на предотвращение создания в военных целях такого оружия странами, пока его не имеющими.

Несмотря на то что ДВЗЯИ еще не вступил в силу, все страны, его подписавшие, включая США и Россию, установили мораторий на испытания ядерного оружия, по крайней мере, со дня принятия его ООН. Три государства, проводившие испытания ядерного оружия после 1996 г., Индия, КНДР и Пакистан, не подписывали договор (*краткая история ДВЗЯИ — во врезке на*

стр. 49). В США мораторий на испытания соблюдался, невзирая на серьезную оппозицию по отношению к самому договору. В 1999 г. Сенат США отказался дать свое конституционное «суждение и согласие» по поводу ратификации соглашения, и вскоре после избрания в 2000 г. президент Дж. Буш заявил, что ДВЗЯИ противоречит интересам национальной безопасности.

Причиной того, что ряд сенаторов голосовали против договора, стало сомнение, что существуют адекватные инструменты, позволяющие зарегистрировать проведение тайных испытаний и тем самым получить доказательства нарушения договора. Зачем отказываться от испытаний, говорили они, если уличить нарушителя невозможно? Бездействие может привести к тому, что другие страны станут источником угрозы национальной безопасности США или их союзников.

По нашему мнению, такие опасения беспочвенны. Сейчас научно-техническое сообщество обладает хорошо отработанными методами регистрации подземных и надземных испытательных ядерных взрывов в любой точке мира. Установлены также признаки их отличия от неядерных явлений, таких как катастрофы в шахтах, землетрясения и др. Например, мощность взрыва в испытании, проведенном в 2006 г. в Северной Корее, была менее килотонны (эквивалент 1000 тонн ТНТ). Но он был своевременно зарегистрирован и идентифицирован. Продемонстрированные в данном случае возможности мониторинга, а также то, что методы контроля продолжают совершенствоваться, лишают разумных оснований возражения против ДВЗЯИ.

Как узнать, что искать

Наука о мониторинге ядерных взрывов столь же стара, как сами ядерные испытания. Для США с самого начала главным доводом в пользу такого непрерывного наблюдения была необходимость сбора информации о возможностях потенциальных противников. Другой

важной причиной была необходимость поддержки международных договоренностей о контроле над ядерным оружием. Если каждая страна — участница договора о всеобщем запрете будет уверена в том, что любая попытка тайно провести испытание будет разоблачена, то из страха перед международными санкциями возможный нарушитель вообще откажется от проведения испытания. После окончания Второй мировой войны было проведено более 2 тыс. испытательных ядерных взрывов — в атмосфере, под водой и под землей. В результате исследователи накопили громадный опыт интерпретации сопутствующим им событий.

Ядерный взрыв генерирует множество сигналов, которые могут быть зарегистрированы. Например, при атмосферном взрыве возникает световая вспышка, которая может быть зафиксирована со спутника. Гром взрыва на частотах, воспринимаемых человеческим ухом, быстро затухает, однако

НИГДЕ НЕ СКРЫТЬСЯ

Системы мониторинга лишают всех надежд на успех попытки скрыть проведение ядерного взрыва. Существует множество признаков, по которым его можно зарегистрировать



Сейсмические волны, распространяющиеся в земной коре



Гидроакустические колебания, проходящие громадные расстояния в толще океана



Инфразвуковые волны, распространяющиеся на тысячи км в воздухе



Выбросы радиоактивных частиц и газов



Смещения поверхности Земли, особенно при подземных испытаниях, которые можно обнаружить из космоса



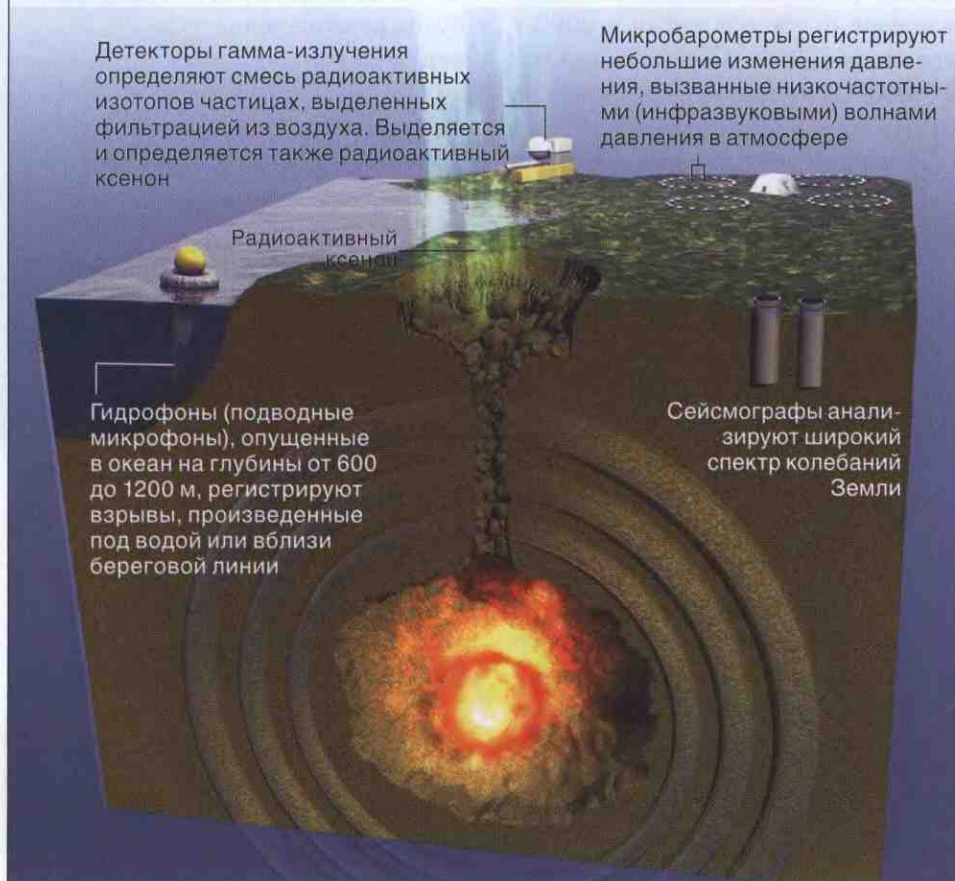
Световые вспышки, яркости которых достаточно для того, чтобы заметить их из космоса



Рентгеновское излучение, видимое из космоса

ТЕХНОЛОГИИ МОНИТОРИНГА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СОБЛЮДЕНИЯ ДВЗЯИ

Международная система мониторинга (МСМ), разработанная Организацией Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ), включает детекторы четырех видов характеристических сигналов от подземного ядерного взрыва (внизу)



в инфразвуковом диапазоне, ниже 20 Гц, распространяется в воздухе на громадные расстояния. Посты прослушивания, оборудованные микробарометрами, детектируют малейшие изменения давления атмосферы и реконструируют инфразвуковой сигнал.

При ядерном взрыве образуются радиоактивные изотопы многих стабильных элементов, которые при испытаниях в атмосфере выбрасываются высоко в воздух в газообразном состоянии. По мере охлаждения некоторые из них, такие как радиоактивный ксенон, остаются в газовой фазе и служат свидетельством ядерного взрыва. Другие конденсируются на частицах пыли и распространяются по всему миру. Еще в 1948 г. военно-воздушные силы США проводили мониторинг американских атмосферных взрывов

в Тихом океане, и было показано, что такие радиоактивные частицы достаточно крупные, чтобы их можно было собирать, прокачивая воздух через бумажные фильтры, подобные используемым в кофеварках.

Идентификация радиоизотопов вскоре доказала свою эффективность. Пролетавший к востоку от Камчатки бомбардировщик В-29 3 сентября 1949 г. получил данные, доказывавшие, что четыремя днями ранее СССР стал второй в мире державой, проводившей испытания ядерного устройства. Смесь изотопов в выбросе, в основном плутоний и уран-238, указала на то, что Советский Союз испытал бомбу, представлявшую собой почти точную копию 21-килотонного заряда, сброшенного на Нагасаки.

На ранних этапах ядерной программы США испытательные взры-

вы производились как в атмосфере, так и под водой. В воде звук распространяется очень хорошо, особенно, если энергия звуковых колебаний захватывается в область с немного измененными температурой и соленостью — в так называемый глубоководный звуковой канал (ГЗК). Выяснилось, что подводные взрывы мощностью всего в несколько миллионов долей килотонны могут быть зарегистрированы гидрофонами, расположенными около слоя ГЗК на глубине от 700 м до 1200 м.

Сейсмический мониторинг

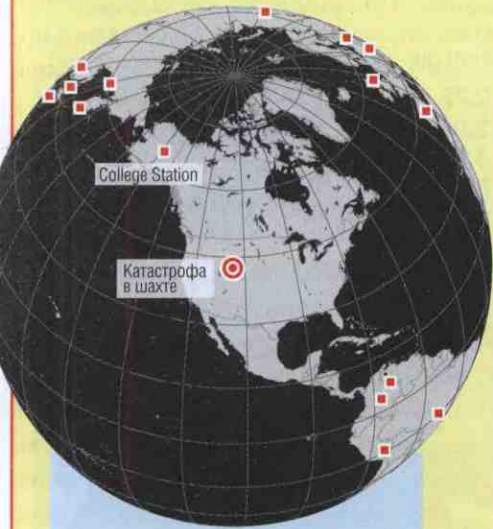
В 1963 г. США, Советский Союз и Великобритания (первые три члена «ядерного клуба») после интенсивных переговоров подписали договор об ограниченном запрете испытаний (ДОЗИ). Согласно этому договору запрещались ядерные испытания в трех средах: в космическом пространстве, в атмосфере и под водой. Однако участники договора имели право проводить подземные испытания. Внимание организаций, ведущих мониторинг, быстро переключилось на информацию, доставляемую сейсмическими волнами — упругими колебаниями, распространяющимися сквозь толщу Земли в результате землетрясений, катастроф, взрывов, и др. Оказалось, что сенсоры, регистрирующие землетрясения, могут сослужить двойную службу. Однако потребовалось несколько лет для того, чтобы научиться различать сигналы от землетрясений и от взрывов бомб, и методы регистрации продолжают совершенствоваться.

Основные трудности связаны с большим числом и разнообразием землетрясений, химических взрывов и других неядерных событий, ежедневно генерирующих сейсмические сигналы. Самая совершенная система наблюдений не может избежать регистрации таких сигналов. Например, в международный итоговый отчет ежедневно попадают более 600 землетрясений; в ходе подземных работ в индустриально развитых странах производятся взрывы миллионов тонн взрывчатки. В це-

КАК ОТЛИЧИТЬ ВЗРЫВ ОТ КАТАСТРОФЫ

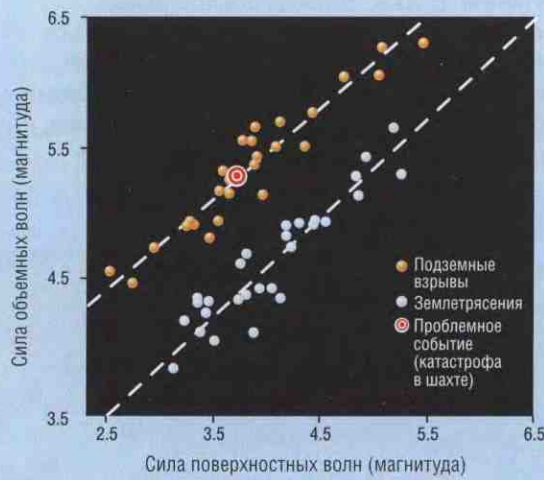
Способность отличить сейсмические сигналы от ядерных взрывов от сигналов от других сейсмических событий — главная проблема мониторинга; неправильная идентификация события может привести к необоснованным обвинени-

ям и международным инцидентам. Надежная идентификация признаков различия сейсмических сигналов от подземных взрывов и от катастроф в больших шахтах стала важным достижением последних лет



Катастрофа в шахте в юго-западном Вайоминге породила сейсмические «объемные» волны, распространяющиеся на большие расстояния. («Объемные» волны распространяются по внутренним твердым структурам Земли.) Эти волны были зарегистрированы сейсмографами на расстояниях до 4 тыс. км от источника (квадраты)

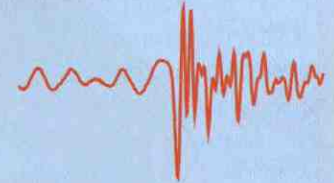
ОШИБОЧНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ?



Подземные взрывы (оранжевые точки) легко отличить от землетрясений (голубые точки) по отношению силы сейсмических волн двух типов — объемных и поверхностных. График демонстрирует, что точки, соответствующие взрывам и землетрясениям, образуют два отдельных семейства. Однако событие на шахте в Вайоминге (двойной красный кружок) выглядит как ядерный взрыв

При дальнейших исследованиях сейсмологи заметили, что объемная волна от обрушения шахты начинается с глубокого провала, в то время как при взрыве она начинается с острого положительного пика (графики внизу). Обе записи были сделаны на станции College Station на Аляске. Отрицательный начальный пик на сейсмограмме катастрофы соответствует обрушению породы внутрь горной выработки

КАТАСТРОФА В ШАХТЕ



ВЗРЫВ



лом ежедневно регистрируются около 25 сейсмических событий с магнитудой выше четырех, и это число возрастает на порядок при понижении магнитуды на единицу (например, с 25 до 250 событий в день при уменьшении магнитуды с четырех до трех).

В большинстве мест на Земле магнитуда 4 соответствует мощности взрыва менее килотонны, если взрывное устройство размещено в небольшой полости в твердом скальном грунте, в котором сейсмический сигнал распространяется наиболее эффективно. В местах, где грунт мягче, значительная доля энергии взрыва поглощается, что приводит к снижению регистрируемой магнитуды. Некоторые политики высказывали беспокойство, что отдельные страны могут попытаться ослабить сейсмический сигнал за счет изменения свойств среды, в которой производится испытание. Например, очень большая полость

в скальном грунте может частично ослабить сейсмическую волну. Однако для проведения испытания устройства, применимого в военных целях, полость должна быть столь большой, что она обрушится после взрыва, или испытание привлечет внимание по другим признакам, например извлеченный материал может быть замечен со спутника. Таким образом, риск обнаружения будет очень велик.

На практике за счет анализа от 50 до 100 сейсмических событий в день могут быть зарегистрированы с вероятностью 90% все ядерные взрывы мощностью в одну килотонну. Для регистрации взрывов меньшей мощности потребуется проанализировать большее число сейсмических событий. Согласно отчету Национальной академии наук США за 2002 г., информации, полученной в результате испытательного взрыва мощностью в одну килотонну,

будет недостаточно для создания оружия большей мощности, особенно если ранее в данной стране не проводили ядерных испытаний.

Отделить зерна от плевел

Первый этап мониторинга ядерных взрывов — регистрация сигналов и попытка собрать и сопоставить все сигналы, связанные с одним и тем же событием. На заключительном этапе по разности времен прихода сигналов от разных станций событие локализуется и идентифицируется. Например, чему соответствуют его характеристики — взрыву метеорита в атмосфере, взрывным работам в шахте или испытательному ядерному взрыву? В последнем случае — какова была его мощность, и какая страна его произвела?

Большая часть сейсмических событий классифицируется автоматически с использованием компьютерных алгоритмов, и только

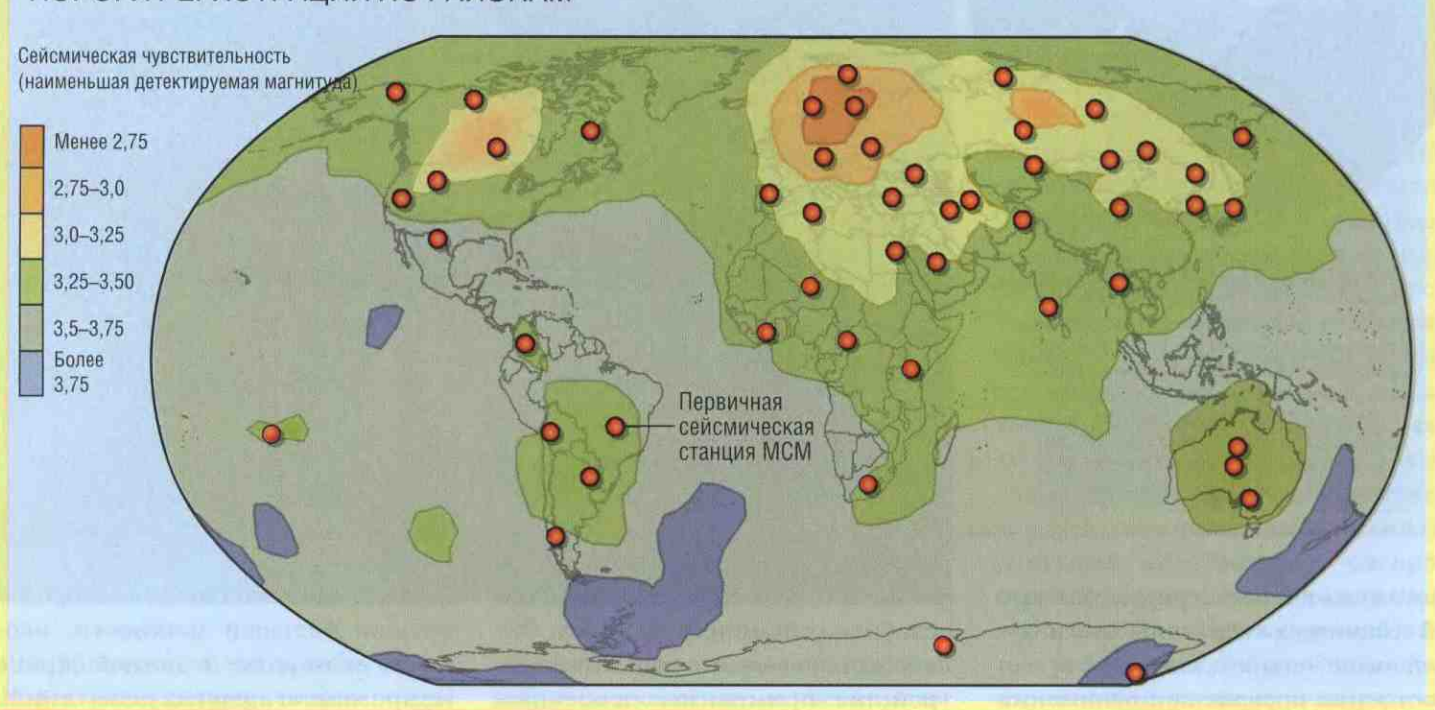
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА В РАМКАХ ДОГОВОРА ПО ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

Как только все 50 сейсмических станций МСМ будут введены в строй, система сможет зарегистрировать в любой точке Земли ядерный взрыв, генерирующий сейсмические волны с магнитудой около 3,75. Такая чувствительность достаточна для обнаружения взрыва устройства, которое может иметь военное применение. Однако МСМ стремится не дать никаких шансов возможным нарушителям. Как показывает карта, чувствительность системы после завершения ее строительства (а сейчас действуют 40 станций из 50) даст возможность регистрировать в большинстве регионов гораздо более слабые взрывы. Поскольку сила сейсмического сигнала зависит помимо мощности взрыва от многих факторов, которыми возможные нарушители могут манипулировать, чтобы скрыть испытание (например, тип горных пород, окружающих заряд: табл. справа), мощность взрыва обычно выражают в массе тринитротолуола, в килотоннах, при взрыве которого выделилась бы эквивалентная энергия

Приблизительные значения мощности подземного взрыва, соответствующие сейсмическим магнитудам

Сейсмическая магнитуда	Мощность взрыва в плотной породе (килотонны)	Мощность взрыва в рыхлой породе (килотонны)
2,75	0,005	0,04
3,0	0,01	0,08
3,25	0,03	0,2
3,5	0,05	0,3
3,75	0,1	0,6

ПОРОГИ РЕГИСТРАЦИИ ПО РАЙОНАМ



в сложных случаях программа дает знак, что требуется вмешательство человека. Специалисты уже много лет регистрируют землетрясения и взрывы в шахтах, и теперь хорошо знают, как характеристики таких событий отражаются в записанных сейсмических сигналах. Этот опыт в свою очередь помог в разработке методов идентификации ядерных взрывов. В частности, при разработке протоколов по идентификации связи регистрируемых событий с ядерными взрывами в качестве «пробного камня» были использованы данные о сейсмических событиях разного происхождения.

Одним из видов таких событий стали катастрофы в шахтах: в 1989 г. в Германии, в 1995 г. в России

и в США. Сейсмические станции всего мира зарегистрировали все три события. Однако интерпретация полученных данных была не вполне однозначной, т.к. на больших расстояниях от источника классические методы идентификации сейсмических событий привели к ошибочной интерпретации данных событий как подземных взрывов. Классические методы идентификации основаны на сравнении силы длинноволновых поверхностных (поперечных) колебаний с продольными колебаниями, распространяющимися по глубоким внутренним структурам планеты. Например, при неглубоком землетрясении и при подземном взрыве могут возникнуть продольные коле-

бания одинаковой силы, однако поверхностные колебания от землетрясения будут значительно сильнее, чем при подземном взрыве.

Более тщательный анализ сейсмических колебаний, вызванных катастрофами в шахтах, показал, что они не могут быть связаны с взрывами: при катастрофе грунт обрушивается внутрь полости, а не движется вверх, как при взрыве, и поэтому волна начинается с провала, а не с пика (врезка на стр. 45). Этот эпизод оказался важным, так как продемонстрировал, что такие события можно отличить от подземных взрывов с высокой степенью надежности на основании исключительно сейсмических данных.

Еще одно событие проиллюстрировало, как важно с точки зрения мониторинга ядерных взрывов уметь различать сейсмические колебания двух типов. В 1997 г. под дном Карского моря, вблизи бывшего советского испытательного полигона на Новой Земле, был зафиксирован слабый сейсмический толчок с магнитудой 3,5, сопровождавшийся еще более слабым повторным толчком. Неужели Россия нарушила свои обязательства по договору ДВЗЯИ?

Поверхностные волны от этого события были слишком слабы, и не могли быть надежно измерены. Поэтому для его идентификации нельзя было применить классический метод, основанный на сравнении силы поверхностных и объемных волн. Однако решить проблему позволила регистрация «региональных» сейсмических колебаний, распространяющихся в верхней мантии и коре Земли, которые могут быть измерены на расстояниях до 1,5–2 тыс. км. Эти наблюдения позволили сейсмологам разделить волны сжатия, или *P*-волны, и сдвиговые, или *S*-волны. (*P*-волны поляризованы вдоль направления их распространения, а *S*-волны — под прямым углом). Было известно, что при взрыве *P*-волны обычно сильнее *S*-волн. В данном случае сравнение интенсивностей волн, а также наличие повторного толчка показали, что событие в Карском море было землетрясением.

Чтобы поймать обманщика, нужно больше наблюдателей

Третьим пробным камнем стал испытательный ядерный взрыв, произведенный в Северной Корее 9 октября 2006 г. Это событие указало на необходимость возможности регистрации сейсмических волн как можно ближе к их источнику. Взрыв был отмечен сенсорами по всему миру, хотя его мощность, по оценкам, была менее одной килотонны. Но для того, чтобы убедиться, что сигнал вызван не землетрясением, а взрывом, потребовался анализ региональных сейсмических дан-

Пол Ричардс (Paul G. Richards) — профессор Обсерватории Земли Ламонта-Догерти Колумбийского университета. С середины 1980-х гг. работает по использованию методов сейсмологии для изучения испытательных ядерных взрывов, как в научных, так и политических аспектах. **Вон Юнг Ким** (Won-Young Kim) — старший научный сотрудник в той же обсерватории. Главный предмет исследований — «региональные» сейсмические сигналы от источников на расстояниях до 3500 км и установление различий этих сигналов от землетрясений и подземных взрывов.

ных. В данном случае мир был хорошо подготовлен. Поблизости располагается несколько сейсмических станций, в том числе входящая в Международную систему мониторинга (МСМ), созданная в соответствии с ДВЗЯИ.

После того как испытание было зарегистрировано сейсмографами и подтверждено в заявлении правительства Северной Кореи, доказательство его ядерного характера было получено при сборе радиоактивного материала в воздухе и на поверхности земли в Азии, а также станцией МСМ в Канаде на другом берегу Тихого океана. Обнаружение радиоактивности было особенно важным моментом. Топография северо-корейского испытательного полигона такова, что взрыв должен был

быть произведен на большой глубине — большей, чем обычно при субкилотонных взрывах. Тем не менее утечка радиоактивности произошла.

Опыт, полученный при исследовании данного события, а также ряда других сейсмических событий, показал, что наилучшие сейсмические данные для решения специфических проблем мониторинга могут быть получены со станций, не входящих в сеть слежения за соблюдением договора. Такие станции, первоначально предназначенные для других целей, обеспечивают детальный контроль больших территорий, что существенно дополняет данные, получаемые специальными системами мониторинга. Например, в районе Корейского полуострова станции слежения расположены столь плот-

ДЛЯ ЧЕГО НУЖНЫ ИСПЫТАНИЯ?

Если страна, имеющая некоторый опыт в проведении ядерных испытаний, пойдет на риск и попытается обмануть систему мониторинга ДВЗЯИ, то полученные данные не увеличат степень угрозы для США. Страны же, не обладающие таким опытом, получают слишком мало информации сверх того, чего можно достичь с неиспытанным оружием

Мощность	Обнаруживается?	Цель и ожидаемый результат
Менее 0,0001	Маловероятно	Проверка надежности (с трудом)
От 0,0001 до 0,01	Маловероятно	Проверка надежности
От 0,01 до 1-2	Вероятно; при некоторых условиях может быть скрыто	Усовершенствования в отношении веса и эффективности «неусиленной» бомбы деления, испытание компактной бомбы мощностью до 2 кт
От 1–2 до 20	Практически всегда	Разработка «усиленного» оружия малой мощности, разработка и испытание термоядерного оружия малой мощности, испытания бомбы деления мощностью до 20 кт

* Испытание надежности стремится доказать, что никакой ядерный взрыв не имел бы места, даже если химическое взрывчатое вещество, которое окружает способный к ядерному делению материал, случайно выделено в единственном пункте

** «Усиленная» бомба содержит тритий и дейтерий для увеличения потока нейтронов, что повышает эффективность взрыва делящегося заряда

ПОЛВЕКА ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ И МОНИТОРИНГА

- 16 июля 1945 г.: проведено первое в мире испытание ядерного устройства на вышке на площадке Тринити, Аламогордо, штат Нью-Мексико
- 6 августа 1945 г.: первая атомная бомба сброшена на Хиросиму. Спустя три дня вторая бомба сброшена на Нагасаки
- 1947 г.: генерал Дуайт Эйзенхауэр призывает осуществлять мониторинг ядерных испытаний в других странах



- 29 августа 1949 г.: СССР становится второй страной в мире, испытавшей ядерное устройство (также в атмосфере)
- 3 сентября 1949 г.: взрыв в СССР был зарегистрирован американским самолетом, собравшим радиоактивные частицы в верхних слоях атмосферы. Это был первый взрыв, зарегистрированный страной, не проводившей данное испытание
- 3 октября 1952 г.: Великобритания осуществляет взрыв ядерного устройства (также в атмосфере) и становится третьей ядерной державой

- Середина 1950-х гг.: многие национальные и международные группы привлекают внимание общественности к вредным генетическим последствиям, вызванным радиоактивными загрязнениями после ядерных испытаний
- 19 сентября 1957 г.: на испытательном полигоне в штате Невада в США произведен первый подземный ядерный взрыв
- 13 февраля 1960 г.: Франция провела первое ядерное испытание
- 31 октября 1961 г.: Советский Союз осуществляет взрыв самого мощного ядерного устройства («Царь-бомба», «Иван», «Кузькина мать») с тротиловым эквивалентом 57 мегатонн. Взрыв был зарегистрирован во всем мире
- 5 августа 1963 г.: договор об ограниченном запрете испытаний подписали США, СССР и Великобритания. Китай и Франция подписать отказались
- 16 октября 1964 г.: Китай проводит испытание своего первого ядерного устройства и становится пятым членом «ядерного клуба»
- 1 июля 1968 г.: 61 страна подписывает договор о нераспространении ядерного оружия, запрещающий передачу военных ядерных технологий странам, ядерного оружия не имеющим. Не подписывают документ Индия, Израиль, КНДР и Пакистан
- 18 мая 1974 г.: Индия проводит первое испытание ядерного устройства (подземное)
- 1992 г.: США под руководством Дж. Буша-старшего объявляет мораторий на все ядерные испытания
- 10 сентября 1966 г.: Генеральная Ассамблея ООН голосует за Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ), который запрещает все ядерные взрывы
- 24 сентября 1996 г.: президент Билл Клинтон подписывает ДВЗЯИ от имени США. К концу этого же дня еще 66 наций, включая четыре государства, имеющие ядерное оружие (Китай, Франция, Россия и Великобритания) подписывают соглашение. Индия, КНДР и Пакистан его не подписывают
- 11 и 13 мая 1998 г.: Индия осуществляет два подземных ядерных взрыва, фактически нарушив всеобщий мораторий на проведение ядерных испытаний, соблюдавшийся с того момента, как ДВЗЯИ был открыт для подписания в 1996 г.
- 28 мая 1998 г.: в ответ на возобновление испытаний в Индии Пакистан осуществляет два ядерных взрыва
- 13 октября 1999 г.: Сенат США не дал свое «суждение и согласие» на ДВЗЯИ
- 2001 г.: вскоре после вступления в должность президент Дж. Буш-младший заявил, что ДВЗЯИ не отвечает интересам США
- 9 октября 2006 г.: КНДР проводит свое первое ядерное испытание (подземное)
- 31 декабря 2008 г.: 180 стран подписали ДВЗЯИ, включая 41 страну из 44, подпись которых необходима для вступления договора в силу. Воздержались только КНДР, Индия и Пакистан



но, что с их помощью могут быть зарегистрированы подземные взрывы мощностью всего в несколько сотых долей килотонны.

Хорошо отработанная сеть сейсмических станций для быстрого сбора, анализа и распределения больших объемов сейсмических данных уже существует независимо от МСМ. По всему миру размещены тысячи сейсмографов для регистрации и оценки землетрясений и для исследования внутренней структуры нашей планеты. В Соединенных Штатах Служба геологического наблюдения и Объединение исследовательских сейсмологических институтов (IRIS), а также консорциум более 100 американских университетов совместно строят и обслуживают системы сбора сейсмических данных. К концу 2008 г IRIS получал данные от 71 сети, в которых действовали 1797 станций, в том числе 474 вне США. В сборе сейсмических данных громадную и все возрастающую роль играет международная группа — Федерация цифровых сейсмических сетей. Такие сети весьма эффективны при регистрации необъявленных испытательных ядерных взрывов, а также для качественного анализа местных сигналов, которые могли бы вызвать подозрения в результате анализа данных, получаемых только сравнительно редкой сетью глобального мониторинга.

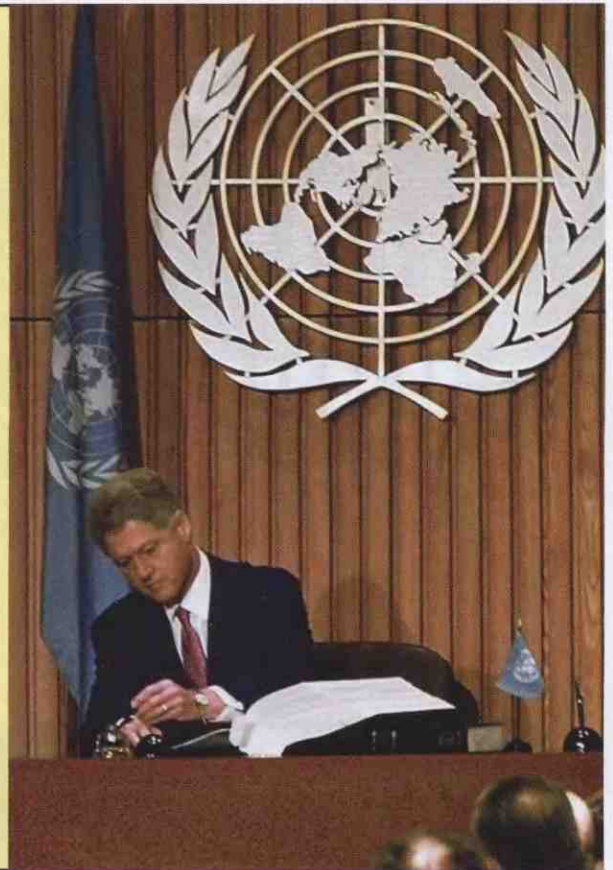
Одна из сетей, заслуживающих особого внимания, — система мониторинга, которую Соединенные Штаты используют специально для регистрации ядерных взрывов. Это Система обнаружения ядерной энергии (AEDS), находящаяся в ведении Центра технических разработок Военно-воздушных сил (AFTAC) вблизи военной-воздушной базы Патрик во Флориде и представляющая собой обширную глобальную сеть сейсмографов. AFTAS представляет данные, полученные в сети AEDS, правительству США. Если договор ДВЗЯИ вступит, наконец, в силу, и AEDS или какая-либо другая национальная система зарегистрирует подозрительное со-

КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ДВЗЯИ

Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ) тесно связан с Договором о нераспространении (ДНР), вступившим в силу в 1970 г., к которому присоединились более 180 стран. Страны, подписавшие ДНР, обязались не допускать передачу военных ядерных технологий странам, не обладающим ядерным оружием.

В ходе переговоров по ДНР многие неядерные страны высказывали пожелание включить в него обязательство ядерных государств воздержаться от дальнейшего совершенствования военных ядерных технологий. В ДВЗЯИ содержатся весьма детальные и далеко идущие обязательства такого рода. Однако, несмотря на множество подписей под ДВЗЯИ, договор не может вступить в силу, пока он не будет подписан и ратифицирован 44 странами, в которых, как считается, имеются действующие ядерные реакторы. К началу 2009 г. договор ратифицировали 35 из 44 стран, включая Россию и почти все страны НАТО. Из девяти воздержавшихся стран шесть подписали документ, но не ратифицировали (Китай, Египет, Индонезия, Иран, Израиль и США), а три даже не подписали (Индия, КНДР и Пакистан).

Поражение ДВЗЯИ в сенате в 1999 г. обусловило неопределенное положение договора в США в настоящее время. Придя к власти, Джордж Буш-младший не отозвал подпись Билла Клинтона под договором (справа), однако заявил о своем отрицательном отношении. Администрация Буша также частично урезала долю США в финансировании Международной системы мониторинга в рамках ДВЗЯИ. Пока Буш был у власти, не было надежды, что Сенат пересмотрит свое отношение к договору. Теперь, учитывая информацию, поступающую от администрации Обамы, можно ожидать, что Сенат пересмотрит договор и проведет повторное голосование



бытие, то эти данные смогут быть представлены на международный форум, дополняя тем самым информацию, полученную МСМ.

Насколько можно понижать порог чувствительности?

Несмотря на то что уже существующие технологии позволяют обнаруживать испытания бомб очень малой мощности и, несомненно, будут совершенствоваться, следует сделать одно практическое замечание. Очевидно, что зарегистрировать со стопроцентной надежностью маломощные взрывы невозможно. Но действительно ли это так важно? Задача системы мониторинга — обеспечить такие условия, при которых мощность скрытно проведенного ядерного испытания будет заведомо настолько низкой, что оно не будет иметь никакой практической ценности с военной точки зрения.

В 1950 г. президент Дуайт Эйзенхауэр готов был согласиться на всесторонний запрет испытаний, несмотря на то что чувствительность систем мониторинга была недостаточной, чтобы зарегистриро-

вать взрывы мощностью в несколько килотонн. Сегодня эти системы гораздо более совершенны. Стоит ли отказываться от ДВЗЯИ, если в принципе взрыв ядерного устройства мощностью менее килотонны может остаться незарегистрированным? Напротив, в аналитическом отчете, представленном в 2002 г. Национальной академией наук, отмечается, что в интересах национальной безопасности США ратифицировать ДВЗЯИ.

Тем не менее ряд руководителей военных ведомств и лабораторий, где разрабатывается ядерное оружие, выступили против ДВЗЯИ. Они считают, что договор мешает США поддерживать надежность существующего ядерного арсенала и работать над его усовершенствованием. Однако для повышения надежности не требуется проведения ядерных взрывов. Договор становится препятствием для разработки новых видов ядерного оружия, что и предусматривалось его авторами. Рассматривая налагаемые им ограничения, следует иметь в виду, что они касаются всех его участников.

Если ДВЗЯИ в конце концов вступит в силу, поддерживаемый де-факто международный мораторий на ядерные испытания будет установлен и де-юре. Тогда договор станет важнейшим шагом на пути предотвращения распространения ядерного оружия и новой ядерной гонки. ■

Перевод: А.А. Сорокин

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Technical Issues Related to the Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty. National Academy of Sciences. National Academies Press, 2002.
- Toward a Nuclear-Free World. George P. Shultz, William J. Perry, Henry A. Kissinger and Sam Nunn in Wall Street Journal Commentary; January 15, 2008.
- CTBT Monitoring: A Vital Activity for Our Profession. Paul G. Richards in Seismological Research Letters, Vol. 79, No. 3, pages 375-378; May 2008.
- The Comprehensive Test Ban Treaty: Effectively Verifiable. David Hafemeister in Arms Control Today, Vol. 38; October 2008. Доступно по адресу www.armcontrol.org/print/3391

Эд Регис

САМЫЙ МАЛЕНЬКИЙ РАДИОПРИЕМНИК В МИРЕ

Одна углеродная нанотрубка может работать как радиоприемник, воспринимающий и воспроизводящий мелодии



В новейшей истории прикладной науки нанотехнология — одно из самых широко разрекламированных «достижений». По утверждению наиболее ярких ее сторонников, такая система производства позволит создавать объекты практически любой сложности, механически соединяя друг с другом молекулу за молекулой до тех пор, пока перед нашим взором не появится изделие, точное до последнего атома.

На деле все обстоит несколько иначе: сегодня приставкой «нано» обозначают все мало-мальски мелкие объекты. Даже в таких разнообразных товарах, как моторное масло, солнцезащитный крем, губная помада и лыжная мазь, присутствуют наночастицы. Кто бы мог подумать, что одним из первых истинно наномасштабных действующих устройств, способных оказать заметное влияние на макромир, окажется... радиоприемник? Однако устройство, изобретенное в 2007 г. группой физика Алекса Зеттла (Alex Zettl) из Калифорнийского университета в Беркли, выполняет ряд удивительных функций: одна-единственная нанотрубка настраивается на радиовещательный сигнал, усиливает его, преобразует в звуковой и передает на внешний громкоговоритель в форме, доступной человеческому уху. Если не верите, послушайте песню «Лейла» на сайте www.SciAm.com/nanoradio.

По мнению создателей нанотрубки-радиоприемника, она позволит миниатюризировать целый ряд приборов, таких как слуховой аппарат, сотовый телефон и *iPod*, до такой степени, что они будут целиком помещаться в наружном слуховом проходе. Наноприемник легко можно разместить внутри живой клетки, говорит Зеттл: «Представьте себе средство воздействия на функции мозга или мышц или радиоуправляемые устройства, передвигающиеся по кровеносным сосудам».

Нанотруба зовет

Алекс Зеттл руководит группой из 30 исследователей, которые зани-

маются созданием устройств молекулярного масштаба. Он решил сделать упор на нанотрубки, поскольку они обладают поистине удивительными свойствами. Обычно честь открытия этих структур приписывают японскому физика Сумио Иидзуме (Sumio Iijima), который и нанес их на карту научного мира, сообщив в 1991 г., что обнаружил «иглообразные трубки» на кончике графитового электрода, испускавшего светящийся электрический дуговой разряд.

Нанотрубки различаются по размерам и форме, они могут быть прямыми, изогнутыми и даже замкнутыми в кольцо, образуя тороидальные конфигурации. Их стенки могут быть одно-, двух- и многослойными. Объединяет их исключительная прочность на растяжение. По словам Зеттла, это обусловлено тем, что «сила, соединяющая между собой атомы в углеродной нанотрубке, образует одну из прочнейших связей в природе». Нанотрубки также превосходно проводят электричество — намного лучше, чем медь, серебро и даже сверхпроводники. Ученый объясняет это тем, что структура трубки настолько совершенна, что электроны ни с чем не сталкиваются.

К идее нанорадиоприемника Зеттл пришел, когда решил, что хочет создать миниатюрные датчики, способные не только обмениваться информацией между собой, но и передавать получаемые данные без помощи проводов. «Они предназначались для контроля состояния окружающей среды», — говорит исследователь. Предполагалось, что датчики, размещенные вокруг промышленного предприятия, на-

пример нефтеперерабатывающего завода, передавали бы получаемую информацию по радио в некий центр сбора данных. Любой человек, обратившись к поисковой системе *Google* и вызвав меню «Качество воздуха в городе», мог бы получить соответствующие данные в реальном времени.

В ходе экспериментов по созданию датчика массы на основе нанотрубки аспирант Зеттла Кеннет Дженсен (Kenneth Jensen) обнаружил интересную закономерность. Если закрепить один конец нанотрубки на какой-либо поверхности, так чтобы получилась консоль, то осаждающаяся на свободный конец консоли молекула будет вызывать вибрацию с частотой, зависящей от ее массы. Когда Зеттл обратил внимание на то, что некоторые из них попадают в диапазон радиовещательных частот, мысль о создании радиоприемника начала обретать четкость.

Основу радиоприемника составляют четыре элемента: антенна, принимающая электромагнитный сигнал, тюнер, выделяющий нужную частоту из всего спектра, усилитель, увеличивающий интенсивность сигнала, и демодулятор, отделяющий информационный сигнал от несущей частоты, на которой он передается. Выделенный компонент информации передается на внешний громкоговоритель, который преобразует электрический сигнал в звук.

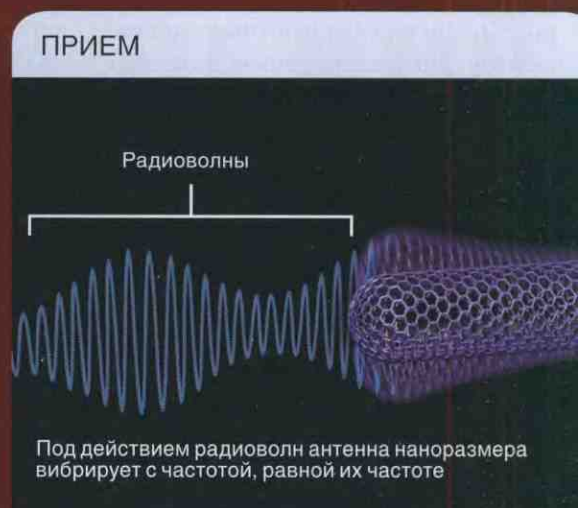
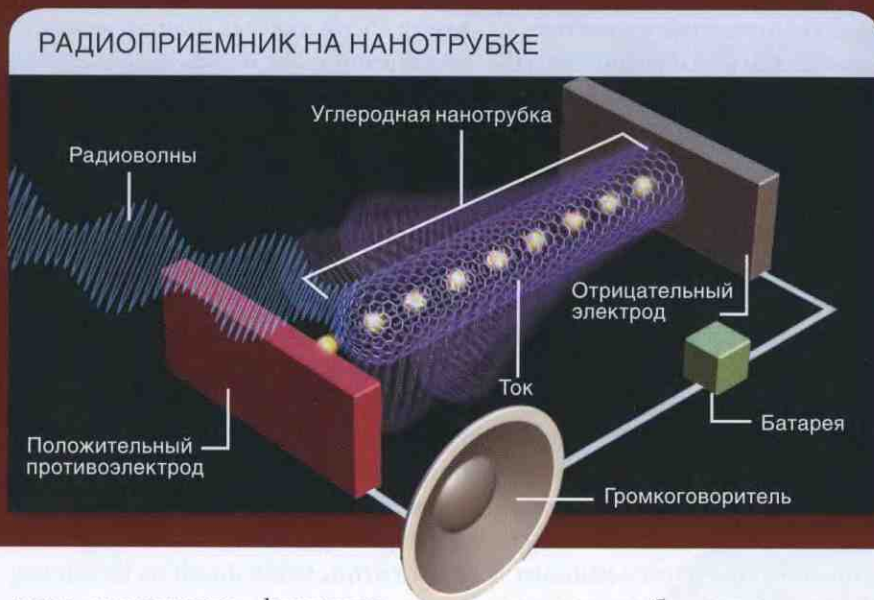
Оказалось, что углеродная нанотрубка, которой предстояло стать основой устройства, обладает таким сочетанием химических, геометрических и электрических свойств, что, будучи помещенной между двумя электродами, может

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Значение нанотехнологии в течение ряда лет было сильно преувеличено, а яркий «нано» прилеплялся к самым разным вещам — от моторного масла до губной помады.
- Одним из первых истинно наномасштабных устройств стал радиоприемник, способный воспроизводить песни, например «Лейлу» Эрика Клэптона или мелодию из «Звездных войн».
- Одна нанотрубка в данном устройстве выполняет функции многих элементов более крупных радиоприемников. Такой прибор может быть использован для доставки лекарств к больным органам, при протезировании, в детекторах взрывчатых веществ.

ПОЗИТИВНЫЕ ВИБРАЦИИ: АНАТОМИЯ САМОГО МАЛЕНЬКОГО РАДИОПРИЕМНИКА

Одна-единственная нанотрубка может выполнять функции обычного радиоприемника, состоящего из множества деталей. Ее крошечные размеры позволяют ей вибрировать под действием радиоволн. Включив такую нанотрубку-антенну в электрическую цепь, можно заставить ее настроиться на нужную частоту, усилить сигнал и выделять из него аудиокомпонент, что позволяет слушать музыку и речь



одна выполнять функции всех четырех перечисленных выше элементов.

Зеттл и Дженсен начали разрабатывать общую схему конструкции, в которой углеродная нанотрубка с многослойными стенками должна быть сформирована на кончике электрода, так чтобы получилась структура наподобие флажтока на горной вершине. Нанотрубка с многослойными стенками была выбрана потому, что она немного крупнее других и ее легче закрепить на поверхности электрода. Позже появился и вариант с трубкой с однослойными стенками. Трубку длиной около 500 нм и диаметром около 10 нм (что примерно соответствует размерам и форме некоторых вирусов) предстояло закрепить на электроде или вырастить прямо на нем методом химического осаждения из паров, когда слои атомов углерода осаждаются из ионизованного газа. На некотором расстоянии от кончика трубки, оформленного в виде полусферы,

нужно было установить другой электрод — противоэлектрод — и создать между ними небольшую разность потенциалов, чтобы вызвать поток электронов между свободным концом нанотрубки и противоэлектродом. Идея состояла в том, что падающие радиоволны будут вызывать в ней механические колебания той же частоты. В результате трубка будет играть роль антенны, принцип действия которой отличается от обычной.

В обычном радио падающие радиоволны возбуждают в антенне колебания электрического тока, но сама она остается неподвижной. В нанорадио нанотрубка представляет собой настолько тонкий и легкий заряженный объект, что энергии падающих радиоволн достаточно для возбуждения в ней механических колебаний.

«Наномир необычен, — говорит Зеттл. — Роль гравитации и инерционных эффектов в нем ничтожна, поскольку объекты настолько малы, что преобладающее влияние

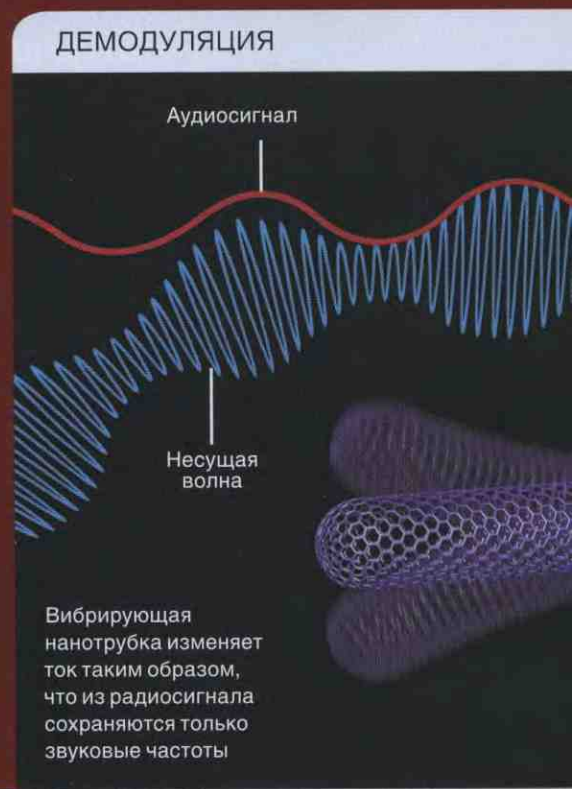
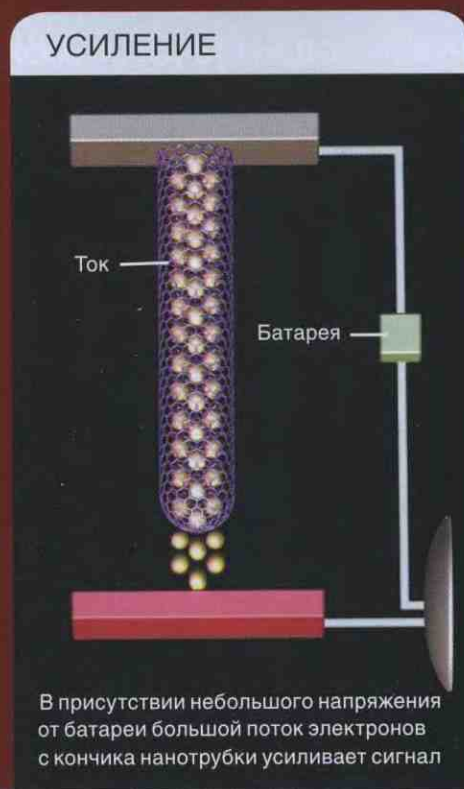
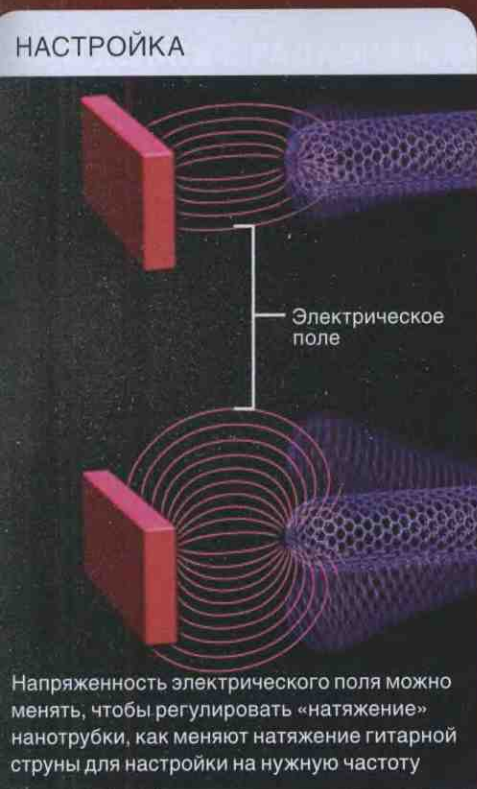
могут оказывать остаточные электрические поля».

Вибрация нанотрубки может вызывать изменения тока автоэлектронной эмиссии с ее кончика на противоэлектрод. Автоэлектронная эмиссия представляет собой квантовомеханическое явление, суть которого в том, что малое приложенное напряжение создает большой поток электронов с поверхности объекта, например с острия иглы. Благодаря свойствам механизма автоэлектронной эмиссии можно ожидать, что нанотрубка сможет выполнять функции не только антенны, но и усилителя. Падающие на трубку слабые электромагнитные волны будут вызывать большой поток электронов с ее колеблющегося кончика, который и будет усиливать сигнал.

Следующим этапом должна быть демодуляция — процесс выделения информационной составляющей (голоса или музыки) из несущей волны передающей радиостанции. В случае радиосистем с амплитудной модуляцией (АМ) демодуляцию осуществляет схема выпрямления и фильтрации, которая реагирует на амплитуду поступающего сигнала и игнорирует (отфильтровывает) частоту несущей волны. Группа Зеттла рассудила, что и эту функцию может выполнять нанотрубка: амплитуда ее вибрации с частотой

ОБ АВТОРЕ

Эд Регис (Ed Regis) написал семь научных книг, последняя из которых, *What is Life: Investigating the Nature of Life in the Age of Synthetic Biology* («Что есть жизнь: исследование природы жизни в эпоху синтетической биологии»), описывает усилия ученых по созданию искусственной живой клетки. Вместе со своей женой он живет в горах Мэриленда недалеко от Кэмп-Дэвида.



несущей волны меняется пропорционально амплитуде этой несущей, т.е. модулируется ее информационная составляющая. К счастью, квантовый механизм автоэлектронной эмиссии обеспечивает выпрямление по самой своей природе, поэтому ток с кончика нанотрубки воспроизводит модуляционную составляющую сигнала, а частоту несущей срезает, так что отдельная схема демодуляции оказывается не нужной.

Короче говоря, падающая электромагнитная волна заставляет нанотрубку, играющую в данном случае роль антенны, вибрировать. Ее колеблющийся кончик усиливает сигнал, а ее автоэмиссионные свойства обеспечивают выделение информационной составляющей из этого сигнала. Противлежащий электрод детектирует изменения тока и передает электрический сигнал звуковой частоты на громкоговоритель, который преобразует его в звуковые волны.

Экспериментальная проверка
Однако все сказанное выше — только теория. В январе 2007 г. Зеттл, Дженсен и еще два исследователя из Беркли, Джефф Уэлдон (Jeff Weldon) и Генри Гарсиа (Henry Garcia), провели ее экспериментальную проверку. Они укрепили нанотрубку с многослойными стенками на

кремниевом электроде и установили на расстоянии около 1 мкм от ее кончика другой электрод, соединив их. С помощью батарейки он подали на электроды напряжение, чтобы создать небольшой автоэмиссионный ток между кончиком нанотрубки и противоэлектродом. Чтобы видеть все, что будет происходить под действием радиопередачи с близлежащей антенны, исследователи поместили устройство в просвечивающий электронный микроскоп. Затем они начали радиопередачу.

Рабочий элемент радиоприемника имеет размеры, близкие к размерам некоторых вирусов

Как гласит история, первое телефонное соединение сопровождалось словами, произнесенными в 1876 г. Александром Беллом: «Приходите, мистер Уотсон, я хочу вас видеть». Первую беспроводную передачу, которую осуществил Гульельмо Маркони в 1894 г., при помощи радиосигнала, возвестил звонок, находящийся на расстоянии 9 м от передатчика. А в 2007 г. первым успешным действием радиоприемника Зеттла на основе углеродной нанотрубки стало звучание песни «Лейла» Эрика Клэптона.

«Это было потрясающе! — вспоминает ученый. — Мы могли одновременно видеть колебания молекулярной структуры нанотрубки под электронным микроскопом и слышать музыку. Я никогда не думал, что смогу наблюдать за работой радиоприемника!»

Вы можете убедиться сами: экспериментаторы задокументировали весь процесс, записав видеозапись и звук в QuickTime, и поместили фильм на веб-страницу группы Зеттла, с которой каж-

дый может бесплатно скачать его и воспроизвести. Позднее они сделали аналогичные записи песен *Good Vibration* группы *Beach Boys*, музыкальной темы из фильма «Звездные войны» (автор — Джон Уильямс) и ларго из оперы Георга Фридриха Генделя «Ксеркс».

Слушать и наблюдать за тем, как возникает звук — поистине сюрреалистическое переживание. Вначале на ровном зернистом фоне видна тонкая неподвижная нанотрубка. Она выступает горизонтально из неровной, похожей на скалу поверхности рядом с другой, более

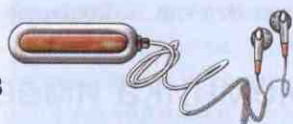
УМЕНЬШЕНИЕ РАЗМЕРОВ РАДИОПРИЕМНИКОВ



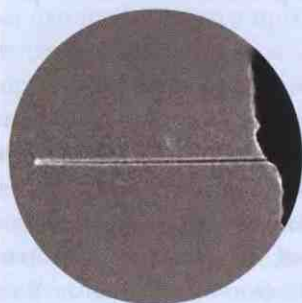
1931



1954



2003



2007

Радиоволны невидимы, а сегодня и размеры радиоприемников тоже уменьшаются: большие ящики сменились вибрирующей нанотрубкой, увидеть которую можно только в очень сильный микроскоп

короткой нанотрубкой. Последняя останется неподвижной, поскольку никакие происходящие вокруг электромагнитные процессы на нее не действуют, т.к. частота ее собственных колебаний не совпадает с частотой передаваемого сигнала.

Сначала ваш слух уловит множество помех, затем трубка просто исчезнет, размоется из-за вибраций, и одновременно на фоне шумов смутно, но различимо зазвучит песня. Может показаться, что вы слышите радиопередачу с Нептуна, но на самом деле звук исходит от исчислимого количества синхронно колеблющихся в такт музыке атомов углерода.

После первого успеха экспериментаторы извлекли устройство из электронного микроскопа и внесли в него небольшие изменения, что позволило передавать и принимать радиосигналы на расстоянии в несколько метров. Им даже удалось в реальном времени настраивать свой радиоприемник на разные частоты, т.е. «переключаться со станции на станцию».

Перенастраивать радиоприемник-нанотрубку можно двумя способами. Первый состоит в изменении ее длины. Как тон звучания гитарной струны можно изменять, прижимая ее на разных ладах, так и собственную частоту колебаний нанотрубки можно изменять, укорачивая ее, например, путем испарения атомов с кончика.

К сожалению, такое изменение необратимо. Однако, как есть и другой способ изменения тона звучания струны — путем изменения ее натяжения, так есть он и для нанотрубки: изменяя напряженность приложенного электрического поля, можно заставить радиоприемник реагировать на разные частоты радиодиапазона.

Описанное устройство на самом деле выполняет одновременно функции всех четырех основных элементов радиоприемника — антенны, усилителя, демодулятора и тюнера. Сочетание этих четырех функций в одном и столь простом

устройстве не перестает удивлять Зеттла. Как же он объясняет их почти волшебное сочетание в одной вытянутой молекуле углерода?

«В электронике часто приходится идти на компромисс: оптимизируя что-то одно, вы неизбежно жертвуете чем-то другим. В данном случае все работает так, как будто подстраивается под вас, что несколько необычно. В науке нечасто доводится видеть такое. Это один из редких случаев, когда закон Мерфи не проявил своей злобности. Все, что может идти правильно, идет правильно», — говорит исследователь.

Зеттл с коллегами несколько месяцев придерживали новости о нанорадио, пока их не удалось опубликовать в журнале *Nano Letters* Американского химического общества. В Сети сведения об этом приборе официально появились в октябре 2007 г., а в печати — в ноябре. В том же номере журнала опубликовано сообщение двух исследователей из Калифорнийского университета в Ирвайне, Криса Разерглена (Chris Rutherglen) и Питера Берка (Peter Burke), об их независимой работе по использованию углеродной нанотрубки для демодуляции AM-сигнала. Они назвали свою статью *Carbon Nanotube Radio* («Радио на углеродной нанотрубке»), но в устройстве, которое они представили, функции антенны и усилителя выполнялись обычными элементами настольного размера. Берк со своей стороны признал, что «моноблочный» радиоприемник Зеттла «очень изящен».

Наносистема доставки лекарств

Радиоприемник на основе нанотрубки переводит нанотехнологию из области теорий, надежд и догадок в сферу практического применения. Он открывает перспективы для создания приборов различного назначения. Сам Зеттл смело заявляет, что его приемник может стать основой для целого ряда потрясающих устройств: совершенно нового поколения средств связи, имплан-

ЧТО ДЕЛАТЬ С РАДИОПРИЕМНИКОМ, КОТОРЫЙ НЕВОЗМОЖНО УВИДЕТЬ

Нанорадиоприемник — это не только красивый аспирантский проект. Способность микроскопического прибора посылать и принимать сигналы позволяет создавать новые типы устройств для доставки лекарственных препаратов к больным органам и роботы для помощи в спасательных работах на местах катастроф

ДОСТАВКА ЛЕКАРСТВ

Частицы лекарства

Нанорадиоприемник

Капсулы, содержащие лекарственный препарат и оборудованные нанорадиоприемником, добравшись до раковых клеток, выделяют препарат по радиосигналу от источника, находящегося вне тела пациента

ПОИСКИ И СПАСЕНИЕ

Роботы размером с насекомое, оборудованные нанодатчиками и миниатюризованными видеокамерами, оповещают спасателей о присутствии токсичного угарного газа и местоположении выживших в аварийной шахте

Угарный газ

Нанодатчик

Нанорадиоприемник

Видеокамера

татов в мозг и мышцы и т.д. Часть из них потребуют дополнительных длительных исследований и разработок, другие же находятся на пороге воплощения в жизнь. К последним относится, в частности, система радиуправляемой доставки лекарственных препаратов к больным органам.

Один из недостатков химиотерапии как метода лечения злокачественных новообразований или неоперабельных опухолей — то обстоятельство, что химические агенты разносятся кровотоком по всему телу и часто убивают не только больные, но и здоровые клетки. Некоторые врачи, встречавшиеся с Зеттлом, предлагают такое решение: вводить в кровоток комплексы, нацеленные на раковые клетки на молекулярном уровне и содержащие в себе химический агент и нанорадио, и когда они доберутся до опухоли, подавать радиосигнал, запускающий выделение лекарственного препарата.

Другим возможным путем представляется восстановление отдельных клеток путем непосредственного введения лекарственного препарата. Группа Зеттла работает в этом направлении, пытаясь создать систему наноинъекции.

Исследователи прокалывают стенки и мембраны клетки и вводят в нее структуру на основе нанотрубки, выделяющую активный химический агент.

«Клетка прекрасно выдерживает такие манипуляции, — говорит Зеттл. — Техника наноинъекции работает гораздо лучше старой, с использованием для прокалывания стенки клетки и введения жидкости микропипетки. Такая процедура слишком груба и разрушительна для большинства живых клеток». Ученый предвидит и возможность применения своего первоначального датчика масс на основе нанотрубки. Некоторые взрывчатые вещества содержат отличительные молекулы известной массы, и миниатюрный прибор, способный быстро и надежно обнаруживать такие молекулы, мог бы заменить масс-спектрометры размером с холодильник, используемые сегодня в некоторых аэропортах для поиска взрывчатки. Правда, пока никто не вызвался довести эти устройства до коммерческого уровня. Однако Зеттл запатентовал свои нанорадио, нанодатчик масс и некоторые другие изобретения, вышедшие из стен его Центра интегральных наномеханических систем, и начал выдавать

лицензии на дальнейшее развитие созданных им технологий.

Не вызывает удивления и то, что в некоторых из последних исследований группа Зеттла достигла пределов микромира. В июле 2008 г. он сообщил в журнале *Nature*, что его группа сумела с помощью электронного микроскопа получить изображение отдельных атомов водорода — самых маленьких атомов в природе. Глубже копать уже некуда. ■

Перевод: И.Е. Сацевич

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Nanotube Radio. Alex Zettl et al. in *Nano Letters*, Vol. 7, No. 11, pages 3508-3511; 2007.
- An Atomic-Resolution Nanomechanical Mass Sensor. Alex Zettl et al. in *Nature Nanotechnology*. Опубликовано в Сети 20 июля 2008 г.
- Снимки радиоприемника на основе нанотрубки, созданного группой из Калифорнийского Университета в Беркли, и фильмы, иллюстрирующие его работу, см. на www.physics.berkeley.edu/research/zettl/projects/nanoradio/radio.html

Юрий Третьяков и Евгений Гудилин

ТАМ, ВНИЗУ, ВСЕ ЕЩЕ МНОГО нанобума

В последнее время нанотехнологии стали рассматривать как своеобразную чудодейственную панацею, которая призвана привести к кардинальному улучшению качества жизни и исполнению мечты о счастливом высокотехнологическом обществе. В то же время многие из давно используемых человечеством объектов — это «нанообъекты»

К представителям наномира также можно отнести кластеры, способные содержать до нескольких сотен атомов, и различного рода «наноструктуры», размер которых хотя бы в одном из измерений не превышает нескольких десятков нанометров. Человечество с самого своего возникновения живет среди нанообъектов. Внутри наших клеток находятся миллиарды молекулярных машин — клеточных органелл. Наш скелет представляет собой по сути композитный материал, который содержит строительные элементы в виде «наночешуек» гидроксилатапатита размером 30–50 нм и толщиной всего несколько нанометров. Неудивительно, что приставка «нано» по-прежнему удивляет, восхищает и... пугает. Как нам использовать опыт тех, кто уже по-

чувствовал вкус к нанотехнологиям, все их плюсы и минусы?

Все-таки «нано» — это много или мало? Когда-то, говорят, Чингисхан приказал каждому из своих воинов принести по камню к его шатру. Выросла большая гора. А что если каждый человек на земном шаре (а их явно гораздо больше, чем воинов Чингисхана) принесет по одной-единственной квантовой точке (диаметр 10 нм, плотность материала 7 г/куб. см) и положит ее около штаб-квартиры Государственной корпорации «Роснано» в кучу, то какую массу будет иметь эта куча? Этот вопрос был задан школьникам на второй Всероссийской олимпиаде по нанотехнологиям, организованной МГУ в 2008 г., и многие из них с полным изумлением получили правильный ответ — «кучка» из

наноточек будет иметь массу всего 22 нанограмма, это мельче любой самой маленькой пылинки!

Нанотехнологии — детище современной фундаментальной науки, междисциплинарная область деятельности, основанная на достижениях химии, физики, биологии, механики и других классических наук, а также на связанном с закономерной эволюцией этих и других областей исследований прорыве в разработке методов синтеза и анализа веществ и материалов. В этом плане нанотехнологии — зачастую существенное улучшение свойств многих практически важных устройств, но не всеобъемлющий переворот наших знаний, как иногда полагают. По определению нанотехнологии — это только способ что-то сделать, их наиболее важным, ося-

заемым, продуктом выступают наноматериалы (НМ), практически важные (функциональные) свойства которых определяются химическим составом, структурой, размерностью и упорядочением составляющих их фрагментов, размер которых принадлежит нанодиапазону, то есть интервалу от 1 до 100 нм. Принципиальная важность нанодиапазона «пространственной шкалы» заключается в том, что в нем реализуются специфические химические и физические взаимодействия. В действительности любые объекты и материалы можно и нужно изучать на разных пространственных масштабах, особенности структуры и свойств материалов на которых (структурная иерархия) лишь в неразрывной совокупности определяют их конечные свойства, важные для фундаментальных исследований и, безусловно, практики. В итоге, для создания наноматериалов оказываются важными не только их состав (определяющий основные свойства) и размер (изменяющий многие свойства), но и размерность (делающая частицы неоднородными), а также упорядочение в системе (усиление, интеграция свойств в ансамбле нанобъектов). Это характерно для нанотехнологий — новое качество, как правило, получается только при правильно организованной структуре на более крупных масштабах, чем нано. Напротив, наноуровень присутствует практически в любых макрообъектах, но не всегда он важен, в этом случае нет оснований говорить о «нанотехнологиях».

Через десятилетие после пика нанотехнологического бума на Западе он докатился и до России. Появление «нано» в нашем обиходе закономерно, ведь еще пять лет назад (22 мая 2003 г.) Президент РФ поручил правительству дать предложения по повышению результативности исследований и разработок в области наноматериалов и нанотехнологий. Потребовалось почти четыре года, чтобы появилась «Стратегия развития nanoиндустрии», утвержденная Президентом

РФ 24 апреля 2007 г. Спустя несколько месяцев были созданы ГК «Роснано» с колоссальным по отечественным меркам начальным уставным капиталом в 130 млрд руб., выделенных из бюджета, и правительственный Совет по нанотехнологиям во главе с заместителем председателя правительства С.Б. Ивановым. Именно он оперативно отреагировал на шумиху вокруг нанотехнологий, заявив, что «рекламировать продукцию со словом “нанотехнология” — это, по существу, трюк. Я сильно сомневаюсь, что там вообще есть какие-нибудь нанотехнологии. Вот хочу простых граждан об этом предупредить. Их уже пытаются дурить». Это скоротечное развитие ситуации от полной эйфории до сдержанного пессимизма весьма характерно.

Действительно, парадигма развития любой новой технологии и реакция на это развитие общества совершенно не линейны. Все начинается с ажиотажного интереса, который возбуждается в обществе (в развитии нанотехнологий в США этому этапу соответствует появление Национальной нанотехнологической инициативы, у нас, пожалуй, 2005–2006 гг.). Общественная реакция проходит через пик необоснованных ожиданий, на этом этапе большие деньги в основном получают организаторы различных рекламных компаний, конференций и издатели научно-популярной рекламной литературы. Однако затем происходят разочарование и резкое падение популярности. На следующем этапе более или менее положительное отношение общества или хотя бы его части восстанавливается, и технология выходит на «плато продуктивности». На этом этапе большая часть спекуляций заканчивается, начинается упорная и успешная работа профессионалов, которая действительно приводит к впечатляющим результатам. В настоящий момент общественная реакция уже близка к пику. Если общественные ожидания будут расти так же быстро, то неизбежное разочарование в радужных иллюзиях, ореолом которых окружены нанотех-

нологии, приведет к тому, что они надолго потеряют доверие людей. К сожалению, необходимо констатировать: поскольку большая часть общества недостаточно образованна в научно-технической области, то лишь немногие могут отличить действительно выдающиеся перспективы от преувеличений, делаемых в рекламных целях или вследствие разного рода спекуляций.

Возникает вопрос: а не лучше ли было бы нам с самого начала использовать уроки зарубежного нанобума, начавшегося существенно раньше, чем у нас, в США, в Западной Европе, в Японии и даже в Китае, и не наступать на те же самые грабли? В последнее время появилась (правда, преимущественно на английском языке) обширная литература, подробно анализирующая самые различные аспекты развития нанотехнологий. Среди этой литературы несомненно выделяется книга Дэвида Берубе (David M. Berube) *Nano-Hype: The Truth Behind the Nanotechnology Buzz* («Нанопурга. Правда о нанотехнологическом буме»). Ее автор — профессор Университета Южной Каролины, сумевший совместно со своими студентами собрать и проанализировать около 2 тыс. статей, обзоров, монографий, документов, относящихся к проблеме развития нанотехнологий. Книга Берубе заставляет любого читателя задуматься над многими проблемами. Можно ли считать нанотехнологию технологией в общепринятом смысле слова, или она в значительной мере сводится к так называемой «нанонауке»? Что нового нано наука несет по сравнению с традиционными дисциплинами — химией, физикой, биологией? Кто говорит правду о нано науке: ученые, пытающиеся получить гранты на проведение исследований, бизнесмены, развивающие свое дело, или неформальные общественные группы, расценивающие развитие нанотехнологий как грядущую катастрофу для человечества в целом?

Начнем с исследователей, деятельность которых, по признанию

наших западных коллег, инициировало само появление наноиндустрии и нанотехнологии. И хотя термин «нанотехнологии» впервые появился в литературе с легкой руки профессора-материаловеда из Токийского университета Норио Танигучи (Norio Taniguchi) в 1974 г., идеологические установки этой новой науки были впервые сформулированы выдающимся физиком-теоретиком, одним из активных участников атомного проекта, Нобелевским лауреатом Ричардом Фейнманом (Richard Phillips Feynman) в его знаменитой лекции, прочитанной в Калифорнийском университете на рождественском вечере 29 декабря 1959 г. Тем самым Фейнман намного предвосхитил появление техники, позволяющей реально осуществлять процессы создания структур на атомном уровне, названные им технологией «снизу вверх». Справедливости ради следует сказать, что инициатором процессов, породивших нанобум, стал не Фейнман, хорошо известный лишь среди ученых, а Эрик Дрекслер (Kim Eric Drexler), автор скандально знаменитой книги *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology* («Машины создания: наступление нанотехнологической эпохи»), опубликованной в 1986 г. и широко разрекламированной Биллом Джоном (Bill Joy) в статье *Why the Future doesn't Need Us* («Почему будущее не нуждается в нас»). В книге Дрекслера были показаны блестящие перспективы развития наноиндустрии и вместе с тем выдвинута концепция «серой слизи», смертельно напугавшая общество. И хотя позже (в 2004 г.) Дрекслер отказался от теории ассемблеров, способных воспроизводить самих себя, именно эти амбициозные идеи о перспективности молекулярной индустрии,

основанной на процессах механической сборки наноструктур с уникальными свойствами, привлекли внимание как бизнеса, так и влиятельных конгрессменов и советников президента США по нанотехнологиям и привели в конечном счете к появлению так называемой Национальной нанотехнологической инициативы (ННИ).

Самыми активными и последовательными оппонентами Дрекслера стали профессор Гарвардского университета Джордж Уайтсайде (George Whitesides) и нобелевский лауреат Ричард Смолли (Richard Smalley). Первый из них обратил внимание на то, что способные к саморазмножению бактерии имеют размер от одного до трех микрон, но не нанометров. Это позволяет им иметь достаточно сложную молекулярную структуру, обеспечивающую возможность осуществления процессов обмена веществом и энергией с окружающей средой и запрограммированную способность воспроизводить самих себя. Нанороботы же имеют слишком малый размер и относительно примитивную молекулярную структуру, недостаточную для осуществления функций самовоспроизводства. Что касается Смолли, то он, помимо научного, имел огромный коммерческий интерес к развитию нанотехнологий. Именно он инициировал создание крупнейшей в мире компании по производству одностенных углеродных нанотрубок (*Carbon Nanotechnologies, Inc*), использующей созданный самим ученым уникальный реактор высокого давления. Эта компания, собственница свыше 100 патентов, контролирует производство многих функциональных материалов на основе углеродных нанотрубок. Смолли оказался еще

более нетерпим к идеям Дрекслера, чем его коллеги по научному сообществу, и это особенно проявилось в их дискуссии на страницах журнала *Chemical and Engineering News*. Начисто отрицая саму идею саморазмножения нанороботов, Смолли подсчитал, что если бы такая возможность и существовала, то нанороботу, способному мультиплицировать себя со скоростью 10^6 /с, потребовалось бы 20 млн лет, чтобы накопить одну унцию продукта саморазмножения. Однако и этот скромный по результатам процесс невозможен, т.к. он потребовал бы огромных энергетических затрат.

Многие фундаментальные исследования, без которых было бы немислимо развитие современных нанотехнологий, проводились на протяжении десятилетий и в России научными школами академиков В.А. Каргина, П.А. Ребиндера, Б.В. Дерягина и особенно нобелевского лауреата Ж.И. Алферова. Было бы несправедливо замалчивать пионерские работы В.Б. Алесковского по развитию методов «химической сборки», то есть «послойного» синтеза, заложившие начало его научной школы в Санкт-Петербурге, успешно функционирующей и сейчас. Несомненно прорывное и практически чрезвычайно важное для своего времени достижение — создание и внедрение в атомную энергетику оригинальных технологий получения ультрадисперсных (нано-) порошков, выполненное группой советских ученых под руководством И.Д. Морохова. Примерно к тому же времени относятся фундаментальные исследования научной школы академика И.В. Тананаева, впервые предложившего дополнить классические диаграммы «состав — структура — свойство» координатой дисперсности, а также оригинальные исследования академика И.И. Моисеева и М.Н. Варгафтика по созданию «гигантских кластеров» палладия, ядро которых насчитывает около 600 атомов металла.

Попытки детерминировать научный поиск, загнать его в жесткое «прокрустово ложе» обречены на не-

ОБ АВТОРАХ

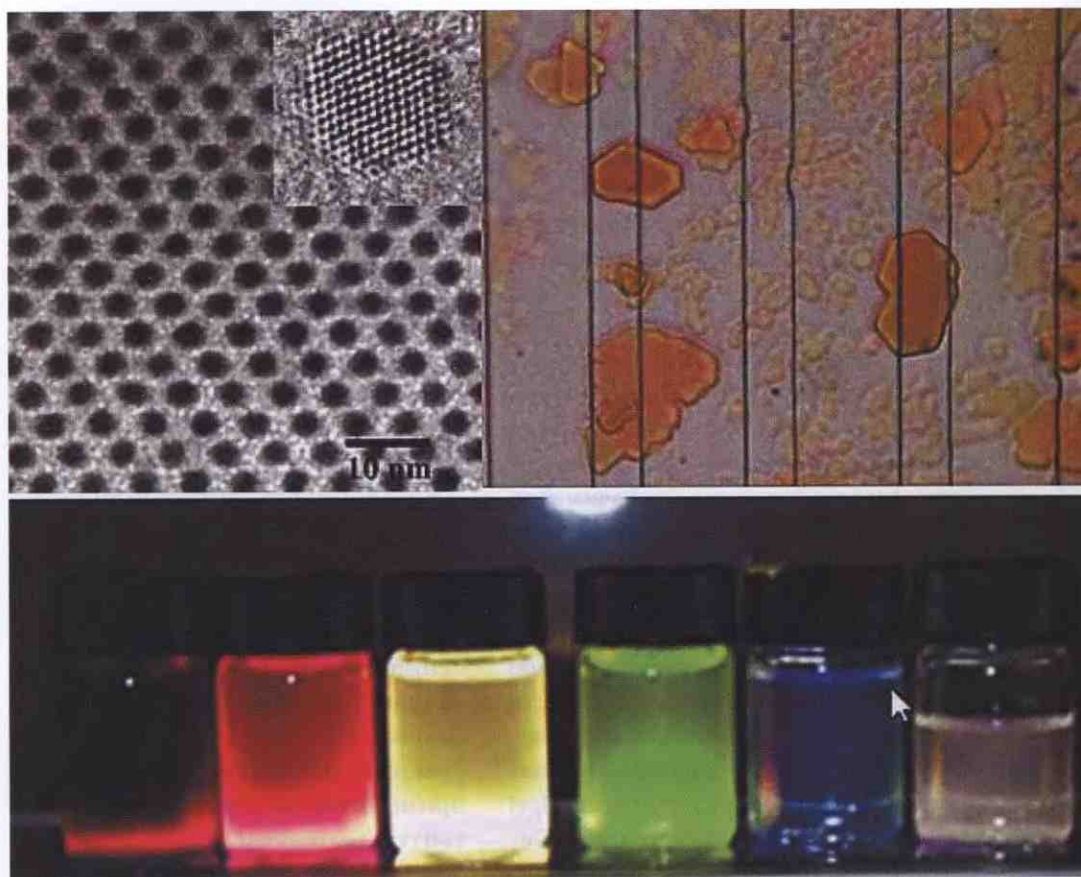
Юрий Дмитриевич Третьяков — академик РАН, профессор, доктор химических наук, декан факультета наук о материалах МГУ, зав. кафедрой неорганической химии химического факультета МГУ.

Евгений Алексеевич Гудилин — член-корреспондент РАН, профессор, доктор химических наук.

удачу. Развитие нанонауки, нанотехнологии и nanoиндустрии в мире, вполне возможно, станет самым тяжелым испытанием для доминирующей в России жесткой системы административно-бюрократических отношений, неотъемлемой частью которой стали коррупция и сращивание чиновничества с бизнесом (Е.М. Примаков). Есть все основания полагать, что до тех пор, пока экстраприбыли будут обеспечиваться за счет нефтяного, газового и строительного бизнеса, бизнесмены предпочтут воздержаться от настоящего инновационных, но одновременно рискованных вложений в создание nanoиндустрии. В этом смысле за рубежом ситуация кажется несомненно более благоприятной. В США, Японии и Южной Корее частный бизнес инвестирует наноразработки в объеме, не уступающем бюджетным расходам, причем только за пять лет — с 1999 до 2004 г. — размеры частных инвестиций в nanoиндустрию возросли в 10 раз!

Огромную проблему представляет защита интеллектуальной собственности российских ученых. В нашей стране, по словам руководителя Роспатента Б.П. Симонова, «...нет ни одного нанопатента, хотя в мире их зарегистрировано уже около 10 тыс., и 2 тыс. имеют правовую охрану на территории РФ». Как ни странно, но в соответствии с российским законодательством авторская идея не является предметом правовой охраны. Все предшествующие годы в нашей стране стимулировались, вознаграждались и поощрялись только идеи, воплощенные в конкретных технических решениях. Кстати, такие ограничения отсутствуют в патентном праве США. Увы, получить международный патент российскому исследователю не по карману, т.к. до сих пор не урегулирована проблема государственной поддержки этой деятельности.

Американский опыт показывает, что нанотехнологический бизнес не может быть успешным, если не привлечь в качестве консультантов высококвалифицированных специа-



Квантовые точки: разные цвета люминесценции коллоидного раствора квантовых точек селенида кадмия, покрытого олеиновой кислотой, в гептане (внизу), а также формирование коллоидных кристаллов из упорядоченных квантовых точек при осторожном испарении растворителя (вверху). Фото: Р.Б. Васильев, А.А. Елисеев (ФНМ МГУ)

листов из числа университетских профессоров. И хотя такие консультации стоят очень дорого, именно они позволяют сберечь многие миллионы долларов, вкладываемых в развитие производства нанопродуктов. Марк Ратнер (Mark Ratner), профессор Нортвестернского университета, анализируя пути повышения прибыльности нанобизнеса, пришел к выводу, сформулированному в заключении написанной им книги: «Задача не в том, чтобы построить бизнес, подходящий для нанотехнологий, а в том, чтобы создать нанотехнологии, подходящие для бизнеса».

А теперь перейдем к вопросу о позиции гражданского общества в условиях зарубежного нанобума. Можно с полной уверенностью утверждать, что эта позиция неоднозначна и в существенной мере определяется информированнос-

тью общества о позитивных и негативных тенденциях, связанных с развитием нанотехнологий и появлением различных нанопродуктов на рынке услуг. Результаты социологических опросов, проведенных в США на протяжении последних пяти лет, показывают, что о существовании нанотехнологий знают далеко не все. Наиболее информированными (71% опрошенных) оказались молодые люди в возрасте от 18 до 22 лет, тогда как примерно в той же пропорции (> 70% опрошенных) ничего не знают о нанотехнологиях дети моложе 13 лет и пожилые люди старше 60 лет. Интересно, что совсем недавно Всероссийский центр исследования общественного мнения (ВЦИОМ) подвел итоги опроса, проведенного по заказу Российской корпорации нанотехнологий. В опросе, прошедшем в апреле 2008 г., приняли участие 1600 граждан Россий-

ской Федерации в возрасте 18 лет и старше, постоянно проживающих на территории России, жители 153 населенных пунктов из 46 регионов РФ. Доля респондентов, слышавших о нанотехнологиях, составила 43% из всех опрошенных. Среди основных областей применения нанотехнологий респонденты называли: электронику — 43%, медицину — 39% и космическую промышленность — 31%. Наиболее популярным источником информации о нанотехнологиях оказались телевизионные программы — именно на них указал 81% участников опроса. 26% респондентов ВЦИОМ назвали в качестве источника информации о нанотехнологиях периодические издания, 10% — радиoproграммы и 10% — Интернет. Большая часть опрошенных (74%) считают, что нанотехнологии в России так или иначе развиваются, а более трети (41%) интересуются их развитием. Подавляющее большинство участников опроса (81%) считают, что нанотехнологии принесут людям пользу. Половина опрошенных (52%) купили бы продукцию, в которой используются нанотехнологии. Но как бы то ни было, эффективность любых широких дискуссий о судьбах нанотехнологий требует участия в них тех, кто имеет хотя бы минимальные познания в области физики, химии, биологии; этические дебаты вокруг нанотехнологий требуют также участия широкого круга специалистов, включая не только ученых и инженеров, но и социологов, психологов, юристов, философов, экономистов, бизнесменов и политиков.

Важную роль в формировании позитивного имиджа нанотехнологий сыграл и продолжает играть *Foresight Nanotech Institute*, созданный Эриком Дрекслером и имеющий поддержку многих крупных компаний. В России аналогом этого института стал Форсайт-центр Высшей школы экономики (<http://foresight.hse.ru/index.html>). Глобальная цель *Foresight Nanotech Institute* состоит в поиске путей улучшения качества жизни людей, особенно в связи с развитием молекулярной нано-

технологии. Институт видит свою новую миссию в поиске таких путей развития нанотехнологий, которые будут способствовать решению следующих глобальных задач:

- создание новых экологически чистых источников энергии;
- обеспечение потребностей в чистой воде;
- улучшение здоровья и увеличение продолжительности жизни;
- максимальное увеличение продуктивности сельскохозяйственно-го производства;
- доступность информационных технологий повсюду;
- продвижение в освоении космического пространства.

Итак, рассмотренные выше особенности зарубежного (в первую очередь американского) нанобума позволяют извлечь определенные уроки и сделать некоторые выводы применительно к российской действительности.

Первый из них касается непростительно малого финансирования фундаментальных исследований в области нанонауки и нанотехнологий в России. В США значительную часть (не менее одной трети) бюджетных расходов составляют средства на проведение именно таких исследований, осуществляемых в университетах и в национальных лабораториях. Лежащая на поверхности прагматическая составляющая, ставшая безусловным приоритетом деятельности ГК «Роснотех», позволяет «подтянуться» к разработкам мирового уровня, но никогда не обеспечит приоритета России в области нанотехнологий. Причина в том, что переход от новой научной идеи к конечному ее материальному воплощению — товару — достаточно долг, поэтому немедленные «инновации» и «закупки» будут основаны лишь на сиюминутных, часто случайных находках, приоритет многих из которых давно уже закреплен за нашими западными или азиатскими коллегами, что автоматически отсекает в подобных случаях успешный выход на мировой рынок. Как тут не вспомнить приведенные в книге академи-

ка Ю.А. Золотова слова из доклада Президента США Билла Клинтона, представленного прессе 3 августа 1994 г.: «Будущее наших детей определяется тем, будем ли мы продолжать вкладывать средства в фундаментальную науку».

Другой урок зарубежного нанобума сводится к необходимости создания мощных научно-образовательных центров (НОЦ), оснащенных самым современным научным оборудованием и способных обеспечить подготовку высококлассных специалистов, дав им полноценное междисциплинарное образование. И хотя необходимость целенаправленной подготовки нанотехнологических кадров осознается всеми без исключения, многочисленные научно-образовательные центры, возникающие в нашей стране как грибы после дождя, по-прежнему не очень приспособлены для проведения современных фундаментальных исследований. То же самое можно сказать и о междисциплинарном образовании, опыт организации которого в нашей стране относительно невелик и ограничивается несколькими классическими и технологическими университетами. По оценке Михаила Роко (Mihail Roco), ведущего американского специалиста в области нанотехнологий, для достижения рынка нанопродуктов к 2015 г. объема продаж в \$1 трлн только в США потребуются подготовить 800 тыс. специалистов, а поскольку мы поставили задачу обеспечить отечественными нанопродуктами до 4% мирового рынка, то необходимо иметь не менее 30 тыс. квалифицированных или переквалифицированных на нанотехнологии специалистов.

Линия опережающего развития наиболее важна и наиболее приемлема для Российской Федерации, поскольку базируется не на уже известных и, как правило, запатентованных в других странах приемах улучшения качества существующих изделий и продуктов за счет использования нанотехнологий, а на генерации новых знаний в наиболее перспективных областях науки и техники и создании принципов

ально инновационных разработок, реализующих новые для промышленности физические или физико-химические принципы функционирования материалов и устройств.

Осуществление этой генеральной линии, в свою очередь, невозможно без развития системы нанотехнологического образования на уровне как вновь поступающих в вузы студентов, так и магистратуры, аспирантуры, докторантуры, адресной поддержки перспективных исследований молодых ученых. Молодые исследовательские кадры — тот богатый человеческий ресурс, опора на который может позволить ответить на мировые вызовы и осуществить поставленные перед российским обществом важнейшие задачи. И в этом плане ведущие вузы РФ способны сохранить то лучшее, что было заложено в отечественной системе образования и пополнить последнее междисциплинарностью, а также способностью владеть современным синтетическим и диагностическим инструментарием.

В случае развития фундаментальных исследований и фундаментальной подготовки научных кадров в области нанотехнологий будет в какой-то степени восстановлена и историческая справедливость, поскольку предпосылки к развитию нанотехнологий в мире были заложены в том числе и российскими учеными. Несколько месяцев назад созданная РАН Комиссия по нанотехнологиям во главе с нобелевским лауреатом Ж.И. Алфёровым разработала обширную программу фундаментальных исследований в области нанотехнологий (ее образовательную часть формировал коллектив под руководством ректора МГУ академика В.А. Садовниченко), получившую одобрение общего собрания РАН. При всех условиях система нанотехнологических НОЦ, разрабатываемая в нашей стране, будет отлична от американской, т.к. последняя базируется на университетах, а у нас в качестве «центров кристаллизации» могут выступать также академические институты, во всяком случае, некоторые из них.

Создание таких центров совершенно необходимо не только для аналитического, методического и научного обеспечения передовых научных исследований, но и для формирования системы эффективного нанотехнологического образования и переподготовки специалистов. В России, к счастью, уже развивается нанотехнологическое движение. К нему относится формирование Общественного совета по созданию эффективной системы образования в области наносистем, наноматериалов и нанотехнологий, Нанотехнологического общества Российской Федерации, старт олимпиадного движения, фестивалей науки, активной исследовательской работы студентов и аспирантов.

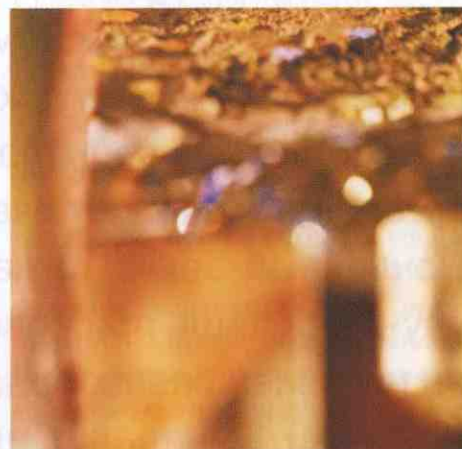
Следующий урок зарубежного нанобума, несомненно, касается роли бизнеса в развитии нанотехнологий. Помимо крупного бизнеса, не всегда проявляющего интерес к чрезвычайно наукоемкому производству нанопродуктов, не способному к достаточно быстрой отдаче, очевидна необходимость активного вовлечения малого бизнеса по зарубежному образцу. При этом, если учитывать специфику нанотехнологического бизнеса, в качестве субъектов могли бы выступать как сотрудники университетов или академических институтов, так и сами эти организации.

Еще один исключительно важный урок зарубежного нанобума связан с необходимостью изучения социальных аспектов и последствий развития нанотехнологий в РФ. В 2000 г. Национальный научный фонд США впервые провел широкую дискуссию на тему «Социальное значение нанонауки и нанотехнологии» с участием ученых, бизнесменов и политиков. В ходе этой дискуссии было наглядно показано, что междисциплинарность нанотехнологии подразумевает не только интеграцию различных естественных наук (физика, химия, биология), но и интеграцию естественных наук с гуманитарными (социология, этика, психология). Проблеме оценки рисков, связанных с производством и применением

нанопродуктов, следует уделить исключительное внимание, создав независимую сертификационную службу для выработки стандартов, метрологии и объективной оценки качества нанопродуктов. В то же время нужно отметить, что эта проблема — прежде всего предмет фундаментальных и практико-ориентированных исследований, и ее использование в политических целях может привести к развитию в обществе необоснованных «нанобобий», а также к созданию излишне жесткой запретительной системы регистрации и использования нанопродуктов, что может нанести существенный вред развитию нанотехнологий.

Наконец, зарубежный опыт, особенно накопленный в США и странах ЕС, показывает необходимость создания целостной системы подготовки всего российского общества к переменам, связанным с развитием нанотехнологий и использованием нанопродуктов, включая разработку новых школьных и дистанционных курсов, выпуск научно-популярной литературы, телевизионные передачи.

Таким образом, уроки зарубежного нанобума — это ценный практический опыт для формирования всех взаимосвязанных направлений развития нанотехнологий в РФ. Игнорирование накопленных фактов может привести к весьма плачевным последствиям, которых хотелось бы избежать за счет дальновидного планирования всех научных, технологических, экономических и социальных аспектов развития нанотехнологий в нашей стране. ■





Глеб Добровольский и Геннадий Федотов

СУЩЕСТВУЕТ ЛИ В ПОЧВАХ наноструктурная организация?

Почва — незаменимое достояние человечества и источник его богатства. Ее существование стало важнейшим условием жизни растений, животных и микроорганизмов, обитающих на суше земного шара. Почва — это кожа нашей планеты. И как кожа играет роль своеобразного зеркала здоровья человека, индикатора состояния организма, так и на почве отражается все, что происходит с биосферой. Почвенный Земли кажется однообразным и малоинтересным объектом изучения лишь при поверхностном взгляде. В действительности же он не менее разнообразен и удивителен, чем мир людей, животных, растений, минералов или горных пород

Существует великое множество природных почвенных образований различных типов, которые морфологически отличаются друг от друга. Однако есть ряд общих признаков, которые позволяют нам называть их почвами: они располагаются на поверхности Земли, представляют собой компоненты соответствующих экосистем, накапливают органическое вещество в виде гумуса и, главное, они плодородны.

Рассмотрим более подробные характеристики почв как составных частей различных экосистем. Для экосистем характерно так называемое неосознанное целеполагание. Наиболее четко это положение сформулировал американский ученый Кеннет Уатт (Kenneth E.F. Watt): «Сообщество животных и растений в любом месте земного шара представляет собой совокупность видов, которая обеспечивает максимальное использование падающей на Землю солнечной радиации». Почвы представляют собой среду, которую населяющие ее организмы приспособили для своего существования. Таким образом осуществляется оптимальное выполнение основной функции экосистемы. В итоге почвы должны эволюционировать в направлении повышения их устойчивости, достигая практически совершенных параметров для существования биоты.

Наиболее важную роль в обеспечении почвенного плодородия играет коллоидная составляющая почв. Именно она обеспечивает высокую влагоудерживающую способность почв, накопление в почвах питательных веществ, обуславливает существование почвенной макроструктуры и, как следствие, почвенного плодородия.

До недавнего времени представления о структурной организации почвенных коллоидов носили общий характер. Считалось, что коллоидные частицы существуют в почвах в виде двух коллоидных систем: плотных гелей на поверхности относительно круп-

ных почвенных частиц, а также в виде органических и неорганических коллоидных частиц в почвенном растворе. Как следствие, почву часто рассматривали не как систему, обусловленную функциональным взаимодействием входящих в нее частей, а как набор частиц, различных, в том числе и коллоидных, размеров, т.е. очень часто в этой сфере применялся достаточно упрощенный подход.

Почвенные коллоиды на полуколичественном уровне активно изучали до середины прошлого века. Появление в тот период методов рентгенофазового анализа и электронной микроскопии переориен-

В мире существуют сотни почв различных типов, которые морфологически отличаются друг от друга

тировало интересы исследователей и позволило получать новые интересные и важные для почвоведения результаты. Недостаточность внимания, которое уделяли изучению почвенных коллоидов, имела объективные причины. Химические методы анализа определения содержания ионов или молекул в почве были хорошо разработаны и достаточно просты. Рентгенофазовый анализ и микроскопия позволяли изучать вещества в микросостоянии. А вот методы исследования почвенных компонентов в коллоидном состоянии были в тот период разработаны недостаточно.

Наноструктурная организация почв

В материаловедении в последнее десятилетие большое внимание уделяется изучению наноструктурной организации материалов и взаимодействию между собой различных уровней их организации. К 2000 г. группа экспертов Национального научного фонда США сделала заключение о безусловном приоритете исследований в области нанотехнологий и наноматериалов, а в 2000 г.

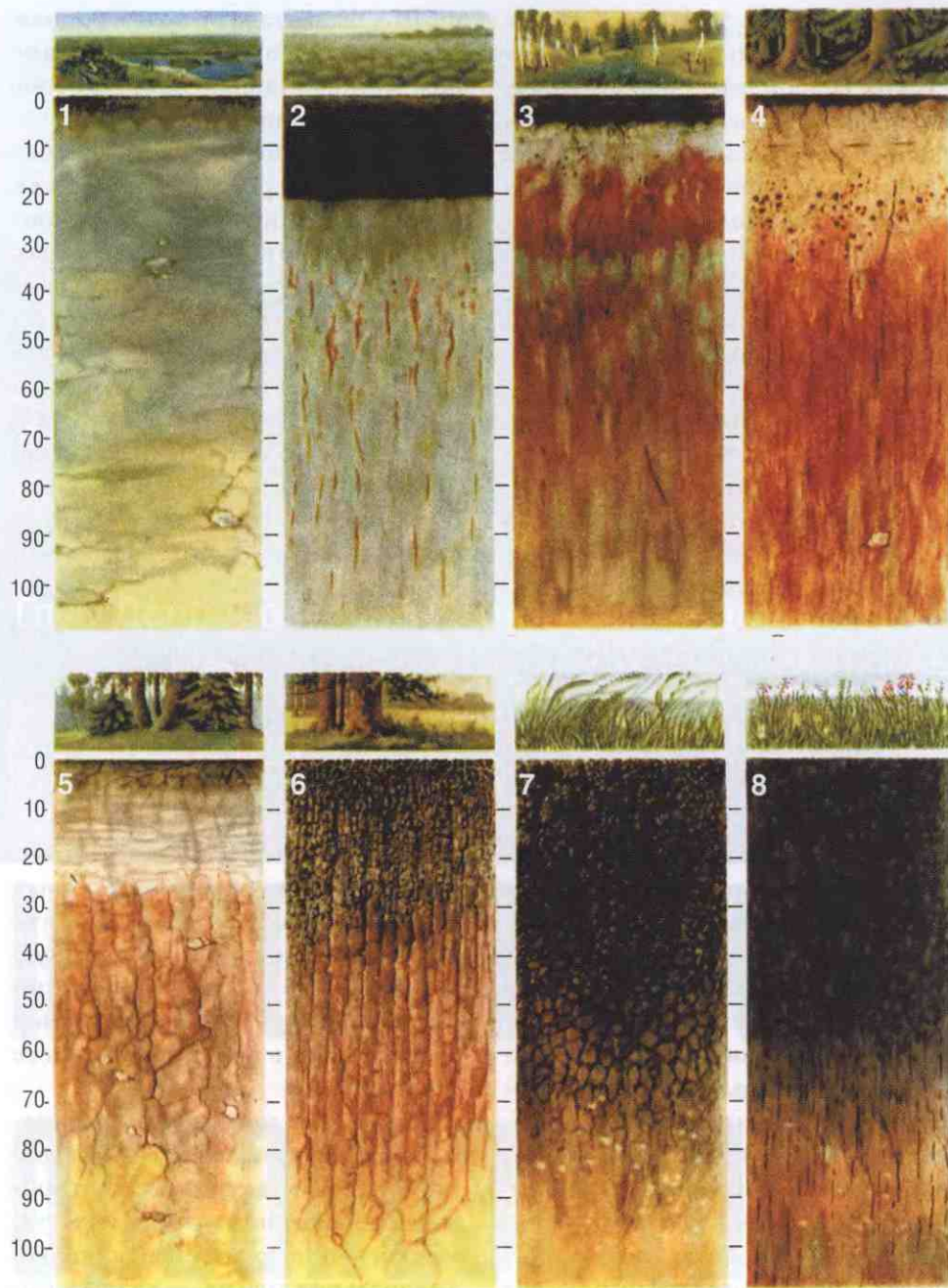
в США была начата долгосрочная комплексная программа, названная «Национальная нанотехнологическая инициатива».

Следует отметить, что изучение наноматериалов и развитие нанотехнологий было подготовлено рядом открытий, сделанных в последнее время: созданием сканирующего туннельного (1981 г.) и атомно-силового микроскопа (1986 г.), экспериментальным обнаружением фуллеренов (1985 г.), изучением размерных эффектов, гетероструктур, процессов самоорганизации, фрактальных образований и ряда других эффектов и явлений.

Развитие нанотехнологий и накопление в почвоведении новых данных заставили нас обратить внимание и на наноструктурную организацию почв. Необходимо было проверить наличие подобной организации в почвах и понять ее принципы.

Используя методы, применяемые в нанотехнологиях — просвечивающую и растровую электронные микроскопии, атомно-силовую микроскопию, рентгенолокальный анализ и ряд других, — удалось выяснить, что молекулы органического вещества почв взаимодействуют между собой, образуя матрицу гумусового студня, которая включает в свой состав минеральные частицы различных размеров. Коллоидная составляющая почв фактически представляет собой гумусовый студень, армированный минеральными частицами.

Несмотря на морфологические различия исследованных почв, во всех них наблюдается общий принцип наноструктурной организации. Для изучения ее единообразия ученые обратились к методу малоуглового рассеяния нейтронов. Этот метод обладает определенными



МОРФОЛОГИЯ ПОЧВ

1. Тундровая глеевая почва. 2. Торфяно-глеевая почва. 3. Болотно-подзолистая почва. 4. Подзолистая почва. 5. Дерново-подзолистая почва. 6. Серая лесная почва. 7. Чернозем. 8. Лугово-черноземная почва.
(Источник: Большая советская энциклопедия)

ОБ АВТОРАХ

Глеб Всеволодович Добровольский – академик РАН, доктор биологических наук, заслуженный профессор МГУ, лауреат Государственных премий СССР и России.
Геннадий Николаевич Федотов – доктор биологических наук, кандидат химических наук.

его применения для исследования почв. Происходит взаимодействие пучка нейтронов с почвой. Частицы коллоидных размеров рассеивают нейтроны под малыми углами. Причем если они образуют фракталы и, взаимодействуя с излучением, ведут себя как независимые излучатели, т.е. находятся на расстоянии друг от друга, то показатель «порода» для этих объектов меньше трех, и они являются массовыми фракталами. Чем больше среднее расстояние между коллоидными частицами, тем меньше показатель «порода», который для массовых фракталов совпадает с фрактальной размерностью изучаемого объекта. Если показатель «порода» больше трех, то это означает, что коллоидные частицы находятся в контакте и не могут вести себя как независимые излучатели.

Основанием для предположения о фрактальной организации почвенных коллоидов стало то, что электронно-микроскопические фотографии наноструктур, выделенных из чернозема, напоминали снимки фрактальных кластеров. Первые же эксперименты подтвердили, что коллоидная структура почв обладает фрактальной организацией.

Таким образом, использование данного метода позволяло подтвердить (или опровергнуть) мысль о расположении коллоидных частиц в почвах, точнее, в матрице гумусового студня, на определенном расстоянии друг от друга.

Проведенные на образцах из нескольких десятков почв и почвенных горизонтов исследования свидетельствовали, что во всех случаях наблюдается рассеяние нейтронов, характерное для объектов, имеющих фрактальное строение. Причем для всех влажных и большинства воздушно-сухих почв фрактальная размерность меньше трех, т.е. коллоидные частицы находятся на расстоянии друг от друга.

Полученные результаты подтвердили единство наноструктурной организации всех исследован-

ных почв и говорят о том, что, во-первых, коллоидные частицы во влажных и многих воздушно-сухих почвах находятся на расстоянии друг от друга, что можно объяснить только их стабилизацией в гумусовой молекулярной сетке, во-вторых, коллоидные частицы расположены в гумусовом студне упорядоченно, и подобные гелевые структуры распространены во всех изученных нами почвах и почвенных горизонтах.

Все вышеизложенное позволяет сделать вывод о том, что коллоидную структуру почв можно рассматривать как студень гумуса, армированный коллоидными частицами, который упрочнен за счет взаимодействия между органическими молекулами. При взаимодействии с водой армированный гумусовый студень ведет себя подобно многим полимерам — набу-

хает, вбирая в себя воду и увеличиваясь в объеме. При высушивании происходит его усадка. Различные воздействия на почву изменяют состояние армированного полимерного гумусового студня, что приводит к наблюдаемому нами изменению свойств почв.

Таким образом, структура почвы стала важнейшим фактором почвенного плодородия. И все остальные факторы, такие как, например, обеспеченность растений элементами питания, могут проявлять себя только на хорошо структурированных почвах. Внесение удобрений на почвах, лишенных структуры, недостаточно эффективно и не ведет к росту урожайности. Предпринимаются попытки отказаться от почвенной обра-

ботки, приводящей к ухудшению структуры почвы и минерализации гумуса, разрабатываются способы беспашотного выращивания однолетних культур и перехода на многолетние культуры. Однако эти технологии либо слишком дороги, либо находятся на ранних стадиях разработки. Поэтому одно из основных агротехнических мероприятий, направленных на повышение производительности сельского хозяйства, — это систематическое улучшение структурного состояния почв.

Почвенные гели определяют существование почвенной структуры — агрегацию почвенных частиц. Поэтому разработка способов получения искусственных гелей из дешевых природных материалов, медленно разлагаемых почвенной биотой, может оказаться весьма эффективным приемом улучшения свойств почв. Знание наноструктурной организации почвенных гелей позволяет целенаправленно разрабатывать способы их получения, используя подходы супрамолекулярной химии и синтеза гибридных материалов. ■

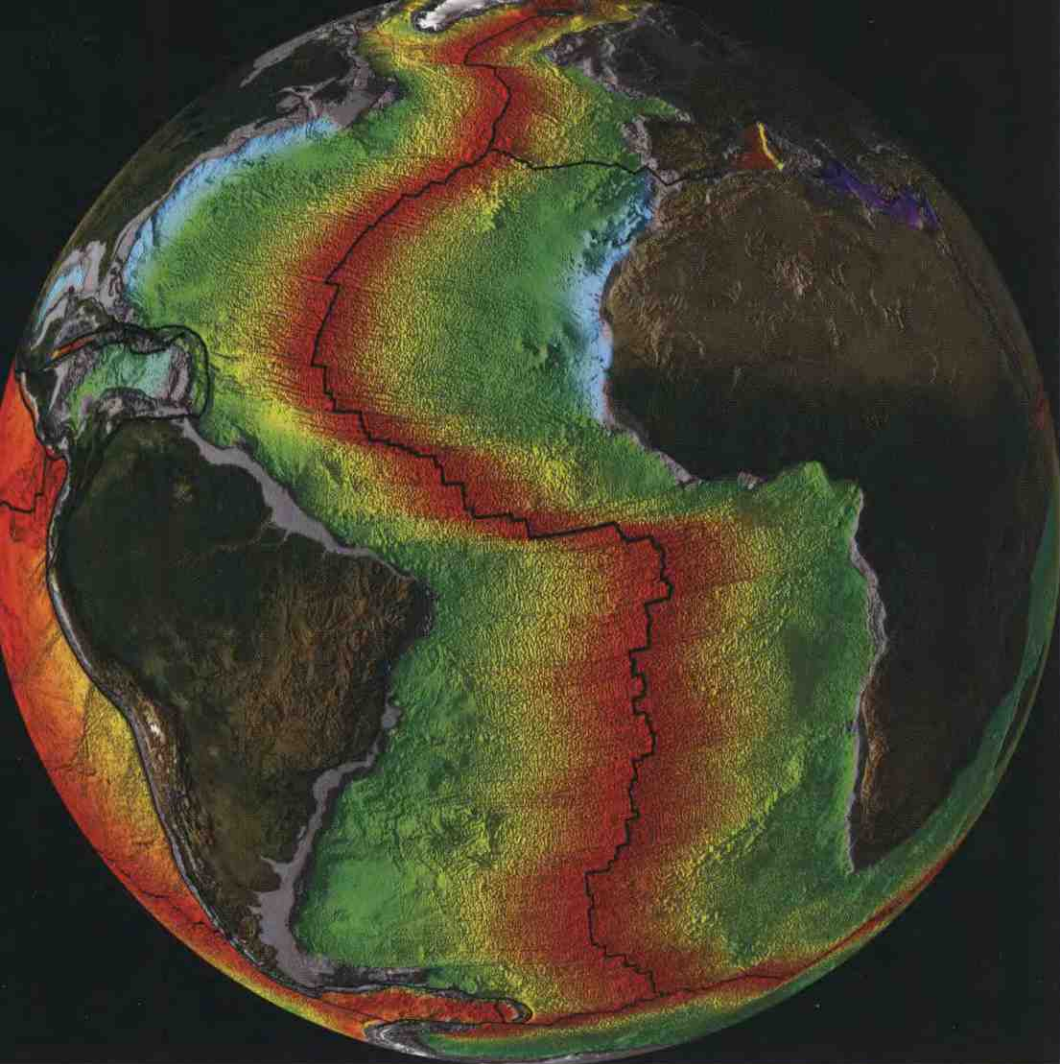
Проблема продовольствия во всем мире становится сейчас одной из приоритетных, ее решение упирается в то, что ресурсы земель ограничены

Кроме того, что проведенные исследования расширяют наши представления о наноструктурной организации почв, они обладают также и практической значимостью. Проблема продовольствия во всем мире становится сейчас одной из приоритетных. Ее решение упирается в то, что ресурсы земель, которые можно использовать для сельскохозяйственного производства, ограничены. Огромное значение имеет также потеря почвами, в основном из-за их деградации, плодородия. Когда ухудшает-

Практическое значение

ся почвенная структура, в первую очередь уменьшается содержание агрономически ценных агрегатов размером 2–5 мм. Как следствие, почвы уплотняются, нарушается водно-воздушный режим корневых систем растений. В результате после увлажнения в бесструктурных почвах сначала наблюдается период дефицита воздуха, затем период дефицита влаги.





СРЕДИННО-ОКЕАНИЧЕСКИЙ ХРЕБЕТ (черная линия) — цепочка вулканов длиной 10 тыс. км, протянувшаяся по дну Атлантического океана, — самая длинная горная цепь в мире. Цветом обозначен возраст горных пород океанической коры: около хребта — самые молодые породы (красный), ближе к материкам они постепенно становятся старше

почти сплошную линию, опоясывающую земной шар, — так называемые срединно-океанические хребты. Перед специалистами встал вопрос, что же их питает. Известно, что вдоль хребтов океаническая кора испытывает растяжение, а значит, горячий материал должен подняться из глубин Земли и заполнить собой пустоты. Но такие подробности, как места образования лавы и способы ее выхода на поверхность, долгое время оставались загадкой.

Созданные в последние годы математические модели взаимодействия расплавленных и твердых горных пород, так же как изучение блоков древнего морского дна, находящихся в настоящее время на материках, дали ответы на некоторые вопросы и способствовали созданию теории, детально описывающей зарождение океанической коры.

Ранее считалось, что огненная магма заполняет огромную камеру под вулканом, а затем поднимается по зубчатым трещинам. В свете новых исследований процесс представляется иначе. За десятки километров от поверхности морского дна крошечные капельки расплавленной породы просачиваются сквозь микроскопические поры, преодолевая расстояние около 10 см в год, что можно сравнить со скоростью роста ногтей у человека; ближе к поверхности поток ускоряется и заканчивается обильным излиянием лавы со скоростью разогнавшегося грузовика. Разобравшись в том, как жидкая масса движется сквозь толщу твердых пород, можно не только объяснить способ возникновения океанической коры,

Питер Келемен

ПРОИСХОЖДЕНИЕ дна океана

На больших глубинах дно океана покрыто лавой, образовавшейся после извержений подводных вулканов. Только недавно геофизики наконец смогли раскрыть тайну ее возникновения

Около 85% извержений вулканов нашей планеты происходят незаметно, во тьме океанических глубин. Но хотя они невидимы, недооценивать их значение нельзя. Подводные вулканы укрепляют твердое основание

Мирового океана — массив горных пород толщиной 7 км.

В начале 60-х гг. XX в. геофизики впервые прикоснулись к тайне происхождения океанической коры. С помощью эхолокаторов удалось определить, что вулканы образуют

но и узнать много нового о характере других систем движения жидкости, например речных сетей, испещряющих земную поверхность.

Постигая глубину

Глубоко внизу, под вулканами срединно-океанических хребтов и бесчисленными слоями лавы, образующими океаническую кору, находится мантия — пласт раскаленных горных пород толщиной 3,2 тыс. км, срединная оболочка планеты, окружающая ее металлическое ядро. Выброшенные на прохладную поверхность Земли породы мантии окрашены в темно-зеленый цвет, но если бы их можно было наблюдать в родной стихии, они бы пылали красным или были раскалены добела. Температура на поверхности мантии — около 1300° С и с каждым километром погружения в ее глубь поднимается на 1°. Под весом верхних пород давление также увеличивается — около 1000 атмосфер на каждые 3 км.

Еще в конце 1960-х гг., основываясь на сведениях о высоких температурах и давлении в мантии, исследователи предположили, что образование океанической коры началось с появления крошечных количеств жидкой горной породы, или расплава, — как будто твердые породы «запотевали». Даже мельчайшее ослабление давления, вызванное поднятием вещества из исходного положения, формирует расплав в микроскопических порах, расположенных глубоко в породах мантии.

Труднее объяснить, как «горный пот» появляется на поверхности. Расплав имеет меньшую плотность, чем твердые породы, в которых он образуется, поэтому он постоянно стремится наверх, в места более низкого давления. Но лабораторные исследования показали, что химический состав расплава не совсем совпадает с составом образцов горных пород, взятых на срединно-океанических хребтах, где происходит его затверждение.

При помощи специального оборудования, позволяющего нагреть и извлечь кристаллы из горных по-

род мантии, было установлено, что состав расплава меняется в зависимости от глубины, на которой он образовался, и регулируется обменом атомами расплава и породообразующих минералов, через которые он проходит. Выяснилось, что по пути наверх расплав растворяет ортопироксены, но осаждает оливин. Следовательно, чем выше в мантии он формируется, тем больше в нем растворится ортопироксенов и тем больше оливина останется в осадке. Сопоставив полученные экспериментальные данные с образцами лавы срединно-океанических хребтов, исследователи обнаружили, что почти все они имеют состав расплава, который сформировался на глубинах более 45 км.

Такой вывод вызвал оживленный спор о том, как расплавленное вещество может просочиться сквозь десятки километров покровных пород и сохранить свой состав. Если расплав поднимается медленно, проходя через небольшие поры пород, как считали геофизики, то было бы логично предположить, что он должен отражать состав верхней части мантии, расположенной на глубине 10 км и меньше. Тем не менее состав большинства образцов лавы срединно-океанических хребтов говорит о том, что расплав прошел сквозь 45-километровую толщу мантии, не растворив по пути ортопироксены. Но каким образом?

Растрескивание под давлением?

В начале 1970-х гг. исследователи предложили гипотезу, не слишком отличавшуюся от взгляда неспециалиста: расплав должен проходить последнюю часть своего пути по ог-

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ГЛОССАРИЙ

ДУНИТ — горная порода, состоящая почти целиком из минерала оливина. Обычно образует целые сети светлоокрашенных жил в верхней части мантии

СКОНЦЕНТРИРОВАННЫЙ ПОТОК ПО ПОРАМ — процесс движения расплава сквозь твердые породы внутри Земли. Расплав течет по вытянутым порам между отдельными микроскопическими кристаллами подобно тому, как вода просачивается сквозь песок

ЛАВА — расплавленная горная порода, изливающаяся на поверхность Земли во время извержения вулканов

РАСПЛАВ — жидкая горная порода до извержения

СРЕДИННО-ОКЕАНИЧЕСКИЕ ХРЕБТЫ — подводные горные цепи, строящие новую океаническую кору благодаря вулканической деятельности

МИНЕРАЛЫ — строительный материал горных пород, могут состоять из одного элемента, как золото, или комбинации различных элементов; так, в состав оливина входят магний, кремний, кислород

ОФИОЛИТ — часть океанической коры с подстилающими породами мантии, поднятой на материк во время столкновения тектонических плит

ромным открытым трещинам, которые позволили бы ему подниматься со скоростью, слишком большой для реакции с соседними породами; он вообще мог бы и не коснуться стен трещин. Хотя открытые трещины нехарактерны для верхней мантии (давление слишком велико), некоторые ученые выдвинули предположение, согласно которому выталкивающая сила поднимающегося расплава могла быть достаточной для того, чтобы разбивать твердые

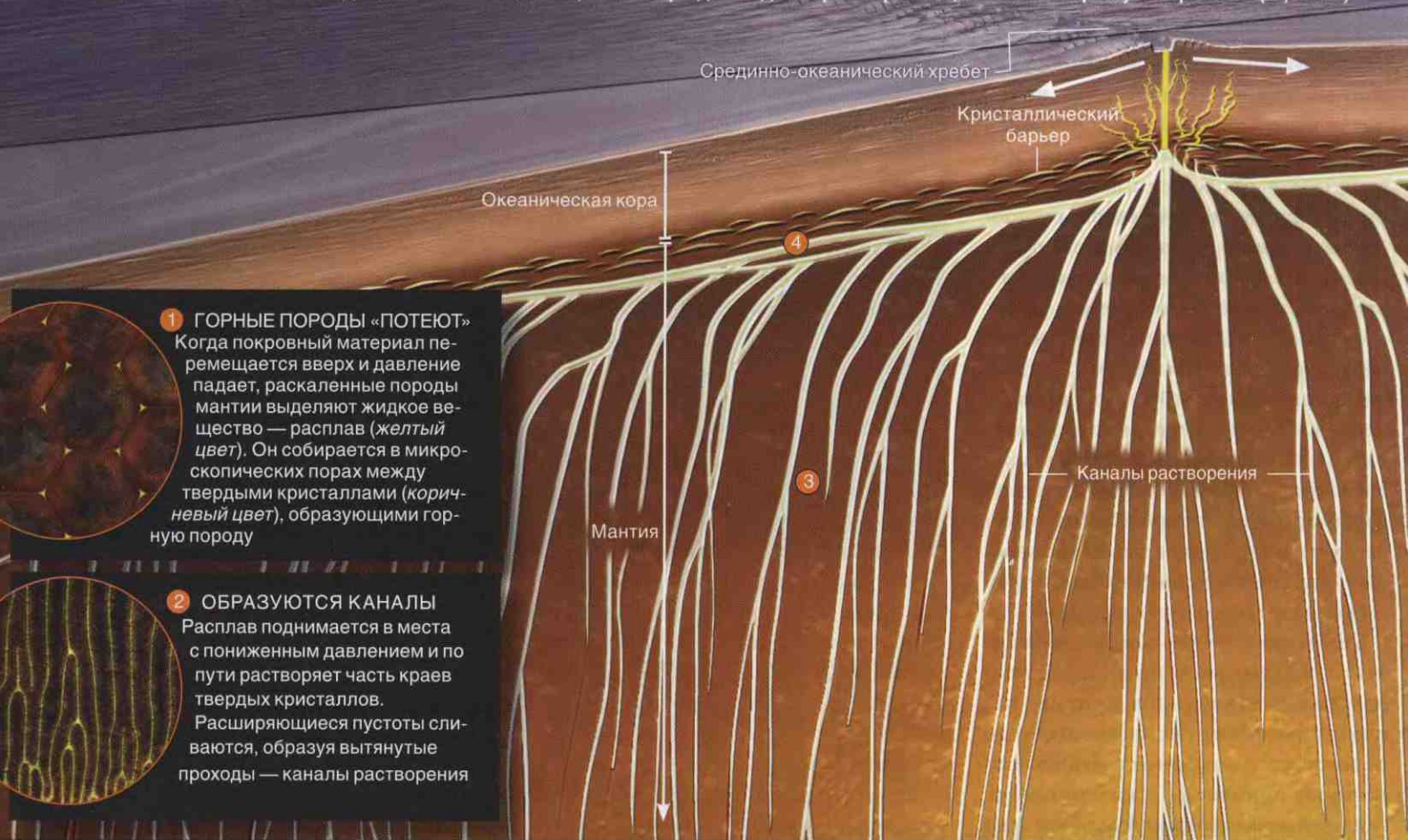
ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- 85% вулканических излияний на Земле происходят глубоко под водой вдоль срединно-океанических хребтов.
- Лава, извергнутая подводными вулканами, вытянувшись узкой цепочкой, укрепляет дно океанов.
- До недавнего времени о том, как жидкая лава подходила к вершине хребтов, было известно немного.
- Сегодня геофизики полагают, что они разгадали процесс, начинающийся с образования мельчайших частичек жидкой породы в областях, простирающихся на глубину до 150 км.

КАК «ПОТЕЕТ» МОРСКОЕ ДНО

Твердое основание Мирового океана представляет собой массив из вулканических пород 7 км толщиной — океаническую кору. Ее происхождение связано с мельчайшими капельками, образующимися на обширных пространствах плотной мантии. Создается впечатление, что породы

«потеют». Бесчисленные капельки пробиваются на поверхность вдоль срединно-океанических хребтов в результате так называемого сконцентрированного потока по порам. По мере поднятия нового материала более древние породы коры перемещаются в сторону от хребтов (стрелки)



1 ГОРНЫЕ ПОРОДЫ «ПОТЕЮТ»
 Когда покровный материал перемещается вверх и давление падает, раскаленные породы мантии выделяют жидкое вещество — расплав (желтый цвет). Он собирается в микроскопических порах между твердыми кристаллами (коричневый цвет), образующими горную породу

2 ОБРАЗУЮТСЯ КАНАЛЫ
 Расплав поднимается в места с пониженным давлением и по пути растворяет часть краев твердых кристаллов. Расширяющиеся пустоты сливаются, образуя вытянутые проходы — каналы растворения

3 РАСПЛАВ МЕДЛЕННО ПРОСАЧИВАЕТСЯ
 Расплав поднимается со скоростью несколько сантиметров в год, так как каналы забиты не растворяющимися в нем зернами горной породы. Постепенно миллионы струек сливаются в проходы больших размеров

4 ПЕРЕД ПОТОКАМИ ВСТАЮТ ПРЕГРАДЫ
 В прохладной верхней мантии часть поднимающегося расплава теряет достаточно тепла, чтобы началась кристаллизация, и таким образом создаются прочные барьеры. Они возникают намного глубже хребтов, но направляют оставшийся расплав в их сторону

5 ТРЕЩИНЫ ОТКРЫВАЮТ ПУТЬ
 Под срединно-океаническими хребтами кристаллизованный расплав полностью прекращает поднятие потока. Расплав аккумулируется в линзовидных камерах, пока внутри не поднимется давление, достаточное для разрыва более прохладных покровных пород

породы, лежащие на пути, подобно ледоколу, ломающему приполярные паковые льды.

Адольф Николя (Adolphe Nicolas) из Университета Монпелье, Франция, и его коллеги открыли любопытное свойство подобных трещин, когда изучали необычный комплекс горных пород — офиолиты. Известно, что там, где океаническая кора древнее и холоднее, ее плотность увеличивается настолько, что она вновь погружается в мантию вдоль зон субдукции, например таких, что опоясывают Тихий океан. Офиолиты — мощные

участки древнего морского дна, примыкающие снизу к мантии, которые были вытеснены на материке при столкновении двух тектонических плит. Наиболее известный образец, расположенный на территории Омана, вышел на поверхность во время столкновения Аравийской и Евразийской плит. На оманском и других офиолитах Николя и его группа обнаружили необычные светлоокрашенные жилы, или дайки, которые, по их мнению, и были теми трещинами, где расплав кристаллизовался до того, как достиг дна океана.

Проблема предложенной ими гипотезы заключалась в том, что дайки были заполнены породой, кристаллизовавшейся из расплава, образовавшегося в самой верхней части мантии, не ниже 45 км, откуда в основном и происходит лава срединно-океанических хребтов. К тому же сравнение с ледоколом может оказаться не очень убедительным для областей, находящихся под срединно-океаническими хребтами: здесь, на глубине около 10 км, раскаленная мантия не растрескивается с легкостью, а течет как карамель, расплавившаяся на солнце.



6 РАСПЛАВ БЫСТРО ВЫТЕКАЕТ
По открытым трещинам расплав быстро устремляется вверх, а камера внизу полностью опустошается. Частично он изливается на вершинах вулканов срединно-океанического хребта, но в основном кристаллизуется внизу внутри коры

Река из пор

Чтобы раскрыть загадку, я начал работу над альтернативной версией объяснения движения лавы в местах формирования расплава. В своей диссертации конца 1980-х гг. я развил теоретические химические положения о том, что, поднимаясь, расплав растворяет ортопироксены, осаждавая оливин в меньшем количестве, и в результате объем расплава увеличивается. В 1990-х гг. я и мои коллеги Джек Уайтхед (Jack Whitehead) из Вудсхолского океанографического института, Айнат Ахаронов из Вейсмановского на-

учного института в Реховоте, Израиль, и Марк Шпигельман (Marc Spiegelman) из Обсерватории Земли Ламонта-Догерти Колумбийского университета создали математическую модель данного процесса. Наши расчеты показали, что в результате растворения постепенно увеличивается свободное пространство на краях твердых кристаллов, поры укрупняются и открывают путь для поступления расплава.

Расширяясь, поры сливаются, образуя вытянутые каналы. Аналогично происходит слияние маленьких притоков в более крупные. Наши числовые модели предполагали, что более 90% расплава сосредоточено менее чем на 10% имеющейся площади. Это означает, что миллионы микроскопических струек расплава могут в итоге напитать только несколько десятков высокопористых каналов шириной 100 м или более.

Даже в самых широких каналах многие кристаллы первозданных пород мантии остаются нетронутыми, накапливаясь и препятствуя движению жидкого вещества. Вот почему расплав течет так медленно, со скоростью только несколько сантиметров в год. Однако со временем по каналам проходит столько расплава, что все растворимые ортопироксены вымываются, остаются лишь кристаллы оливина и других минералов, не поддающиеся растворению.

Наиболее важен в данном процессе сконцентрированный поток по пустотам, то есть расплав растворяет ортопироксены из вмещающих пород только по бокам потока, в центре же он может подниматься в первозданном виде. Таким образом, математические модели доказали, что расплав, образующийся глубоко в мантии, может сам проложить себе дорогу вверх, не разрывая горных пород, но частично их растворяя. Полученные нами результаты были подтверждены полевыми изысканиями, которые дали более непосредственные доказательства существования потоков в порах офиолитов.

ТОЛЬКО ФАКТЫ

- Для образования пласта океанической коры шириной 6 м и толщиной 7 км потребуется в среднем 100 лет
- Горячие породы земной мантии образованы из твердых кристаллов, но, как и ледники, они могут течь со скоростью 10 см в год, сопоставимой с ростом ногтей на руках
- Изливающаяся на срединно-океанических хребтах лава покрывает дно океана со скоростью, которая может иногда превысить 100 км в час

Сосредоточенные усилия

Только с воздуха можно в полной мере оценить оманский офиолит — массивное скальное образование, протянувшееся на 500 км в длину и 100 км в ширину. Как и другие офиолиты, под воздействием выветривания он приобрел ржаво-коричневый цвет и испещрен тысячами желтовато-коричневых жил. Геологи уже давно определили жильную породу — дунит, но точного анализа минерального состава дунита и вмещающих его пород проведено не было.

Как и следовало ожидать, вмещающие породы, представляющие верхнюю мантию, богаты и оливином,

КАК ОБРАЗУЮТСЯ СРЕДИННО-ОКЕАНИЧЕСКИЕ ХРЕБТЫ

Иногда океаны рождаются на суше, там, где тектонические силы растягивают землю в процессе образования рифтов (см.: Хэддок Э. *Рождение океана* // ВМН, № 1, 2009). Поднимающиеся раскаленные породы мантии разрывают и растягивают континентальную кору снизу. На утонченной части коры, так называемой рифтовой долине, обычно происходит излияние базальтовых лав того же вида, что слагают океаническую кору. При расхождении сторон рифта дно долины в конце концов опускается ниже уровня моря и затопливается. Попадая под воду, вулканы бывшей рифтовой долины становятся срединно-океаническим хребтом, производящим новую океаническую кору между двумя частями старого материка.

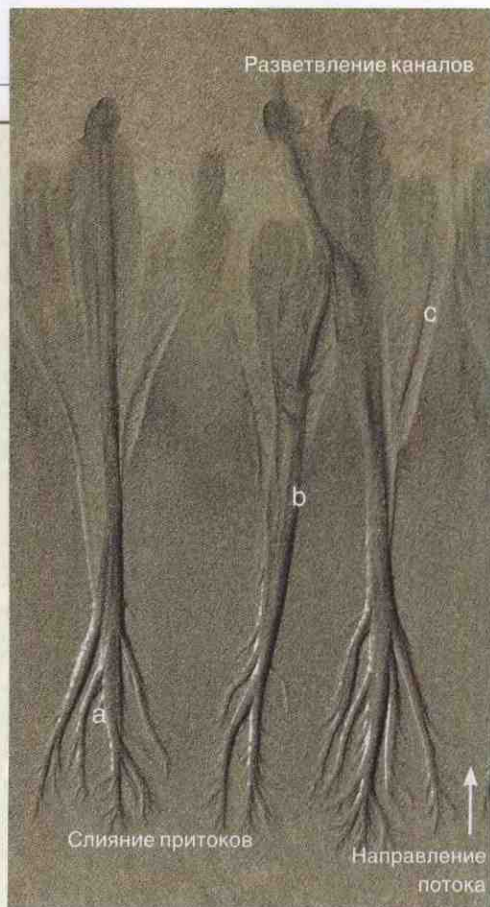
ВОДА ТЕЧЕТ ПО СУШЕ, КАК РАСПЛАВ В МАНТИИ

Вода, текущая по поверхности Земли, прорезает сеть каналов подобно расплаву горной породы, поднимающемуся из земной тверди. Хотя такие сети каналов прокладываются разными средствами: вода на суше физически переносит зерна песка, а расплав растворяет некоторые зерна вмещающих его горных пород, — сходство заключается в том, что каждым процессом управляют аналогичные физические законы.

В обоих случаях возникающая сеть отличается постоянством при условии случайных стартовых характеристик. Во время отлива на берегу поверхностные воды быстро стекают в любые понижения. Вода подбирает зерна песка и в процессе течения углубляет каналы, которые в свою очередь изменяют направление течения любого нового ручейка, впадающего в них по пути движения (а). В результате возникает зарегулированная сеть стока со слиянием вниз по течению (б), несмотря на случайный характер ее зарождения. Причина возникновения такой эрозионной сети в том, что она — наилучший способ сохранить энергию: чем глубже и шире водотоки, тем меньше потеря энергии из-за трения между движущейся водой и песчаным руслом.

Принцип сохранения энергии также управляет химической эрозией в мантии Земли. В то время как расплав растворяет горную породу, он постепенно увеличивает крошечные открытые пустоты, или поры, через которые проходит. Образующиеся каналы растворения растут и сливаются по мере продвижения расплава вверх, поскольку вязкое торможение, сродни трению, уменьшается с ростом пор (врезка на стр. 66–67). Как и на берегу, много активных канальцев подпитывают несколько больших — такая система частично объясняет, почему подводные излияния обычно ограничены срединно-океаническими хребтами, а не хаотично растекаются по дну океана.

Изменение условий может повлечь расхождение слившихся потоков. На поверхности суши при выполаживании склона вода теряет песчинки, образуются барьеры, меняющие течение основного потока (в). Так, в дельте, где реки впадают в море, вода откладывает материал и создает преграды, через которые периодически переливается и прокладывает новые пути, которые в свою очередь забиваются и перестают существовать. Подобное разветвление каналов происходит и в самой верхней части мантии, которая прохладнее подстилающих пород. Расплав уже более не может сохранять жидкое состояние, часть его кристаллизуется. Периодически расплав прорывается сквозь твердые кристаллические барьеры, временами прокладывая новые проходы ко дну океана.



и ортопироксенами. Дунит же, в свою очередь, более чем на 95% состоит из оливина и полностью лишен ортопироксенов, что подтверждает химические положения, согласно которым все ортопироксены должны были раствориться и вымыться ко времени достижения расплавом самой верхней точки мантии. Таким образом, становится очевидным, что жилы из дунита и есть те транспортные артерии, по которым расплав поднялся из глубины мантии к срединно-океаническому хребту. Мы обнаружили

проделанные растворами каналы, застывшие во времени.

Как ни взволновали нас сделанные открытия, они не давали ответа на другую часть загадки, которую геофизики так долго не могли разгадать. Обширные излияния лавы наблюдались вдоль срединно-океанических хребтов только в пятикилометровой зоне. Кроме того, сейсмические исследования твердой и частично расплавленной породы показали, что расплав, по крайней мере на глубине 100 км, существует в радиусе нескольких сотен кило-

метров. Каким же образом поднимающаяся лава устремляется в столь узкое пространство на дне океана?

В 1991 г. Дэвид Спаркс (David Sparks) и Марк Парментье (Mark Parmentier) из Брауновского университета предложили искать ответ в переменных температурах океанической коры и верхней мантии. Новые излияния лавы постоянно добавляют материал с двух сторон срединно-океанического хребта. В то время как более старые части сползают с хребта, открывая путь новым поступлениям горячей лавы, они постепенно остывают. Чем прохладнее кора, тем она становится плотнее и сильнее погружается в теплую мантию. Тенденция к охлаждению означает, что в открытом океане вдали от гребней срединно-океанических хребтов дно и кора под ним в среднем на два километра глубже, чем непосредственно под хребтами. Кроме того, кора охлаждает верхний

ОБ АВТОРЕ

Питер Келемен (Peter B. Kelemen) — профессор Обсерватории Земли Ламонта-Догерти Колумбийского университета. Он впервые обратился к детальному исследованию движения магмы в твердых горных породах в 1980 г., когда занимался картированием офиолитов в индийских Гималаях. С тех пор он изучил взаимодействие твердых и расплавленных горных пород, сопоставляя данные полевых работ, химико-математических моделей и исследований динамики жидких тел.

слой мантии, которая становится толще по мере удаления от хребта.

Исходя из данных положений, Спарк и Парментье разработали компьютерную модель потоков в пустотах мантии. Она показала, что часть поднимающегося расплава теряет тепло, достаточное для кристаллизации в верхней мантии, создавая таким образом дамбу, или «крышу». Подобные барьеры образуются тем глубже, чем дальше от горячих срединно-океанических хребтов они расположены, а остальной расплав вынужден подниматься под углом, в сторону хребта по наклону образовавшейся «крыши».

Завершающие извержения

Таким образом, полевые наблюдения и лабораторные модели дали убедительные объяснения двух главных загадок. Восходящий расплав не изменяется по химическому составу в соответствии с вмещающими породами мантии, т.к. он химически изолирован внутри широких дунитных проходов, которые ведут к срединно-океаническим хребтам, в то время как часть расплава остывает и кристаллизуется в самой верхней части мантии. Но возникает новый вопрос: если подъем расплава — продолжительный, медленный процесс, как предполагалось раньше, то что тогда вызывает взрывы расплавленных пород, характерные для вулканической деятельности на дне океана?

И вновь полевая геологическая практика направляет наши теоретические построения. В середине 1990-х гг. Николя и его коллега Франсуаз Будье (Francoise Boudier) показали на оманском офиолите, что выплав аккумулируется в линзовидном кармане (от нескольких до десятков метров в высоту и от десятков до сотен метров в ширину) в самой неглубокой части мантии, прямо под основанием океанической коры. Чтобы объяснить происходящие физические процессы, нам с коллегами пришлось рассмотреть, как ведут себя породы мантии непосредственно под основанием коры и на значительной глубине.

Под вытянутыми активными хребтами, такими как Восточно-Тихоокеанское поднятие или хребет, где сформировался оманский офиолит, прохладное дно океана отнимает тепло у пород самой верхней части мантии (2 тыс. м под основанием коры), вследствие чего часть расплава охлаждается и кристаллизуется. При постоянном притоке расплава снизу, с преградами на пути наверх, он начинает собираться в линзах, под кристаллическим материалом. Чем больше расплава поступает, тем выше поднимается давление внутри линзы. На большей глубине породы были бы достаточно разогреты, чтобы в ответ потечь и снять такой подъем давления, но здесь отдача тепла вышележащему дну океана делает их слишком жесткими. В результате подъема давления породы над расплавом в кармане периодически растрескиваются, образуя проходы, ведущие вверх в молодую океаническую кору. Часть расплава собирается и остывает близ основания коры, нагромождая новые породы без излияния. Но временами расплав выплескивается вверх из жерла вулкана, образуя лавовый поток до 10 м толщиной и 10 км длиной, который покрывает вулканическими породами дно океана.

Расширяя применение новых положений

Исследования транспортной сети расплава в глубинах под дном океана открыли много схожего с тем, что специалистам известно о речных системах на поверхности Земли.

Подобно силе маленьких ручейков, соединяющихся в реки, химическая эрозия в глубокой мантии создает единую сеть, где маленькие активные ручейки впадают в не столь многочисленные, но большие каналы. Расплав, кристаллизующийся в верхней мантии, строит плотины, изменяющие направление его течения, подобно илистым рекам, которые на пути к морю образуют из своих осадков естественные дамбы. В обоих случаях дамбы периодически прорываются, позволяя большим массам материала вы-



БЫВШАЯ ОКЕАНИЧЕСКАЯ КОРА и часть подстилающей мантии обнажились на засушливой земле Омана. Мощный комплекс из горных пород коричневого цвета, называемый офиолитом, превратился в результате выветривания в скалистое холмогорье. Он был вытеснен на материк во время столкновения двух тектонических плит

рваться через узкий проход. Исследования основных физических процессов, управляющих системами переноса вещества в реках и каналах расплавов, могут в итоге послужить созданию единой фундаментальной теории. ■

Перевод: В.И. Сидорова

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

■ Extraction of Mid-Ocean Ridge Basalt from Upwelling Mantle by Focused Flow of Melt in Dunite Channels. Peter B. Kelemen, Nobumichi Shimnizu and Vincent J. M. Salters in *Nature*, Vol. 375, pages 747–753; June 29, 1995.

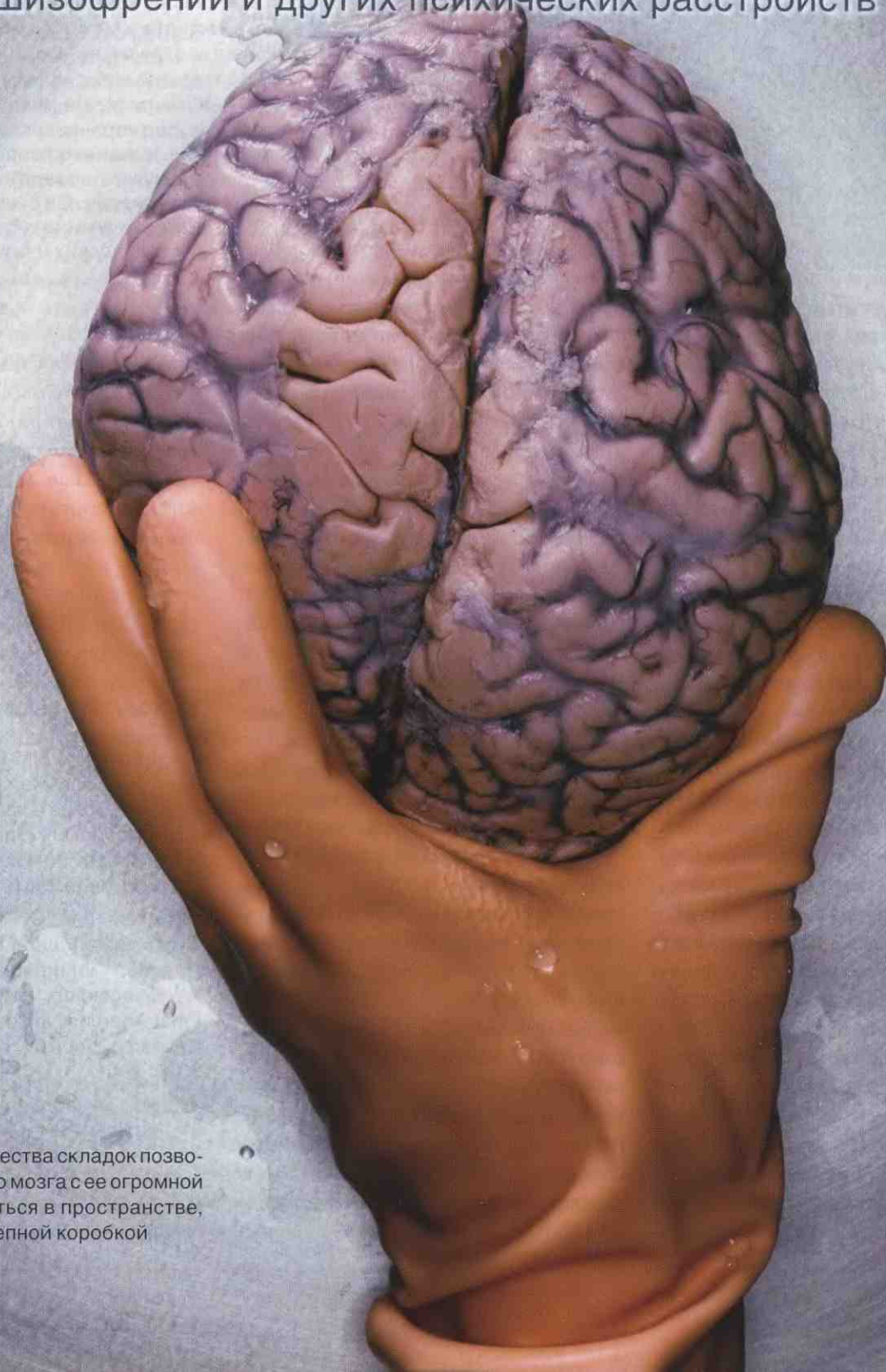
■ Causes and Consequences of Flow Organization during Melt Transport: The Reaction Infiltration Instability. Marc W. Spiegelman, Peter B. Kelemen and Einat Aharonov in *Journal of Geophysical Research*, Vol. 106, No. B2, pages 2061–2077; 2001.

■ Dunite Distribution in the Oman Ophiolite: Implications for Melt Flux through Porous Dunite Conduits. Michael G. Braun and Peter B. Kelemen in *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, Vol. 3, No. 11; November 6, 2002.

Хелен Барбас и Клаус Хильгетаг

ОФОРМЛЕНИЕ МОЗГА

Последние исследования помогли нам понять, каким образом поверхность головного мозга приобретает свою складчатую форму. Эти данные можно использовать в диагностике и лечении аутизма, шизофрении и других психических расстройств



Образование множества складок позволяет коре головного мозга с ее огромной площадью уместиться в пространстве, ограниченном черепной коробкой

Одно из первых наблюдений, которое сделал человек относительно своего мозга, — то, что его поверхность образует сложный ландшафт из холмов и долин. Он формируется корой головного мозга, которая представляет собой покрывало студенистой субстанции толщиной от 2 до 4 мм, заполненной нейронами. Это так называемое серое вещество, которое определяет наши восприятие, мышление, эмоции и действия. Другие млекопитающие с крупным мозгом, такие как киты, собаки и человекообразные обезьяны, тоже обладают морщинистой корой головного мозга. У каждого из этих видов — свои паттерны ее изгибов.

У млекопитающих с небольшим мозгом и других позвоночных поверхность этого органа относительно гладкая. Кора млекопитающих с крупным мозгом по мере эволюции разрасталась значительно быстрее, чем череп. Если разглядеть кору головного мозга человека как основу для пиццы, то ее площадь окажется в три раза больше, чем внутренняя поверхность черепной коробки. Таким образом, единственный способ уместить кору человека или других «мозговитых» видов в небольшое пространство головы — уложить ее складками.

Образующиеся складки не случайны, как это бывает на скотчанной бумаге: получающийся узор относительно постоянен от человека к человеку. Как формируются складки коры? Что они могут рассказать нам о функционировании мозга? Последние исследования указывают на то, что складки образуются во время развития и сохраняют свою форму в течение жизни индивида благодаря поддерживающей их сети нервных волокон. Вмешательство в процесс развития складок или в работу этих нервных сетей на более поздних этапах, например в результате удара или другого повреждения, приводит к далеко идущим последствиям для формы мозга и передачи информации между нейронами. Эти данные могут лечь в основу новых стратегий

диагностики и лечения пациентов с определенными психическими расстройствами.

Внутренние силы

Загадка строения мозга занимала умы ученых с древних времен. В начале XIX в. австрийский физиолог Франц Йозеф Галль (Franz Joseph Gall) предположил, что форма человеческого мозга и черепа в определенной степени отражает индивидуальные особенности мышления и личности. В дальнейшем его теория была названа френологией. Несмотря на то что эта идея не получила научного подтверждения, она привела к серии исследований «преступного», «гениального» и «недоразвитого» мозга. Позже, в конце XIX в., немецкий анатом Вильгельм Гис (Wilhelm His) предположил, что развитие мозга представляет собой последовательность событий, управляемую внутренними физическими причинами. Опираясь на эту идею, английский энциклопедист Д'Арсн Томпсон (D'Arcy Thompson) утверждал, что форма многих структур как живой, так и неживой материи возникает благодаря физической самоорганизации.

Из-за смелости этих теорий они не были приняты официальной наукой. Френологию объявили лженаукой, что не мешает современной генетике реализовывать биомеханический подход к строению головного мозга. Тем не менее в последние годы современные методы картирования мозга с применяемыми к ним алгоритмами компьютерного анализа помогли обнаружить факты в поддержку идей XIX в.

Указания на то, что Гис и Томпсон были на верном пути в своих размышлениях о природе движущих сил формирования биологических структур, появились в 1997 г. Нейробиолог Дэвид Ван Эссен (David Van Essen) из Университета им. Дж. Вашингтона в Сент-Луисе опубликовал в *Nature* следующую гипотезу: нервные волокна, связывающие различные области коры головного мозга, чтобы они могли обмениваться информацией между собой, создают также силу натяжения, которая притягивает друг к другу участки ткани. У эмбриона человека кора изначально гладкая и остается таковой первые шесть месяцев развития. В это время новорожденные нейроны посылают свои тонкие волокна, или аксоны, чтобы сцепиться с воспринимающими частями, или дендритами, нейроновмишеней в других областях коры. В результате аксоны закрепляются на дендритах. По мере разрастания коры аксоны тоже растут и растягиваются, как эластичный бинт. Ближе к окончанию третьего триместра, когда нейроны все еще рождаются, мигрируют и образуют связи, кора начинает образовывать складки. К моменту рождения ребенка кора его мозга более или менее развита и уже обладает характерной складчатой поверхностью.

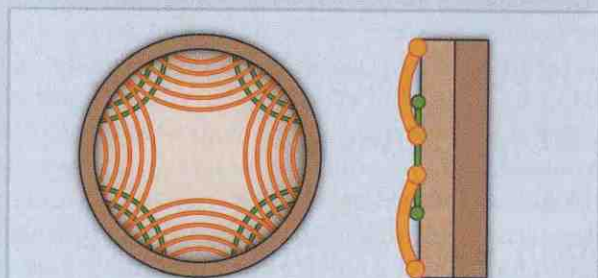
Ван Эссен заявил, что те области коры, связи которых наиболее интенсивны, т.е. те, между которыми больше аксонов, по мере развития под действием механического натяжения закрепленных в них волокон притягиваются друг к другу. Эти процессы приводят к образованию между такими областями выпук-

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

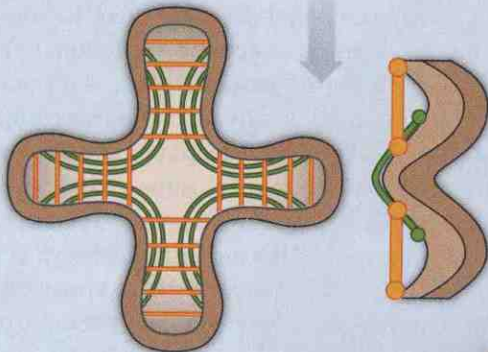
- Кора головного мозга образует его складчатую поверхность. Она также участвует в высших этапах переработки информации о наших восприятии, мышлении, эмоциях и действиях.
- Чтобы уложиться в ограниченный черепной коробкой объем, кора образует замысловатые складки.
- Новейшие исследования показали, что холмы и долины поверхности коры формируются благодаря механическому натяжению между нейронами.
- Ландшафт коры отличается у здоровых людей и индивидов с нарушениями работы мозга, возникающими еще в процессе развития нервной системы, например при аутизме. Это позволяет предположить, что подобные заболевания влияют и на связи между разными участками мозга.

ОБРАЗОВАНИЕ СКЛАДОК КОРЫ ГОЛОВНОГО МОЗГА

Наружный слой головного мозга, его кора, в процессе внутриутробного развития образует складки. На основании результатов исследований можно предположить, что формированием складок управляют механические силы, возникающие в нейрональных связях, объединяющих различные области мозга, как это схематически представлено на рисунках слева



В течение первых 25 недель развития зародыша кора остается относительно гладкой. В это время образующиеся нейроны направляют свои волокна (цветные линии) к другим участкам мозга, чтобы образовать там связи и прикрепиться к нейронам-мишеням



По мере роста коры возрастающее натяжение между областями, связанными большим количеством волокон (оранжевый), начинает притягивать их друг к другу, образуя между ними холмы, которые называются извилинами. Те области, что связаны менее плотно (зеленый), уносит друг от друга, в результате чего образуются долины мозгового ландшафта, называемые бороздами



Плод в шесть месяцев



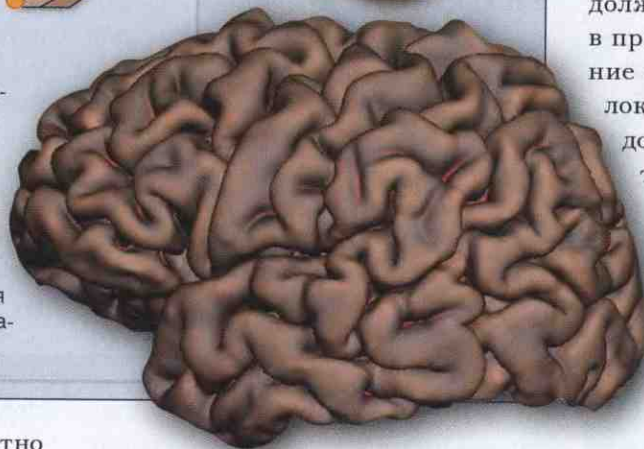
Плод в семь месяцев



Плод в восемь месяцев



Плод в девять месяцев



лостей, или извилин. Менее плотно связанные участки наоборот отходят друг от друга, в результате чего они разделяются долинами — бороздами.

Современные методы изучения нервных путей позволяют проверить гипотезу о роли системы мозговых коммуникаций в формировании коры. Согласно простейшей механической модели, если каждый аксон воздействует на ткань с небольшой силой, то общая сила аксонов, связывающих наиболее интенсивно передающие информацию области, одновременно растягивает нервные пути. Метод ретроградного мечения,

при котором краситель, введенный в небольшой участок коры, распространяется от окончаний аксонов к телу клетки, позволяет выяснить, какие области мозга посылают аксоны к данному участку коры. Также этот метод помогает оценить, насколько плотными связями обладает участок коры и какую форму принимают идущие от него аксоны. Наше исследование с применением метода ретроградного мечения к большому количеству связей нейронов мозга макака резуса показало,

что, как и ожидалось, большинство аксонов имеют прямую или немного изогнутую форму. Более того, чем больше связей, тем прямее будут пролегать в них аксоны.

Формирующая сила нервных связей легко прослеживается в различии строения коры в центрах речи левого и правого полушарий мозга человека. Возьмем, например, Сильвиеву борозду. Это глубокий «овраг», который разделяет передние и задние центры речи. В левом полушарии данная борозда чуть менее глубока, чем в правом. Видимому, подобная асимметрия связана с анатомией большого пучка волокон, так называемого верхнего продольного пучка, который пролегает вокруг борозды и связывает передние и задние центры речи. Опираясь на это наблюдение и учитывая тот факт, что левое полушарие у большинства людей ответственно за речь, в статье 2006 г. мы предположили, что верхний продольный пучок левого полушария должен быть более мощным, чем в правом полушарии. Предположение об асимметрии плотности волокон подтвердилось в ряде исследований с применением методов томографии мозга. Теоретически более крупный пучок волокон в левом полушарии должен действовать с большей силой и быть прямее, нежели правый пучок. Тем не менее эта гипотеза до сих пор не проверена.

От большого к меньшему

Механические силы определяют не только макроструктуру коры головного мозга, они также влияют на формирование ее клеточных слоев. Кора состоит из рядов клеток, уложенных как бы в многослойный пирог. В большинстве областей коры шесть слоев, причем они могут отличаться по толщине и составу. Например, в областях коры, занятых первичной обработкой сенсорной информации, наиболее толстый слой — четвертый, а в областях, которые отвечают за произвольные движения — пятый,

в то время как в ассоциативных областях коры, которые осуществляют наше мышление и память, наиболее выражен третий слой.

Подобные различия в распределении клеток по слоям стали основанием для деления коры на специализированные области, которое исследователи используют уже более ста лет. Нам оно известно в варианте, предложенном немецким анатомом Корбинианом Бродманом (Korbinian Brodmann). Его карта коры головного мозга актуальна и по сей день. Наличие складок приводит к тому, что относительная толщина слоев изменяется, как у губки при сжатии. В извилинах верхние слои коры растягиваются и становятся тоньше, а в бороздах сжимаются и становятся толще. В глубине коры это соотношение меняется на противоположное.

Основываясь на данных фактах, некоторые ученые предположили, что поскольку форма слоев и нейронов меняется, когда они растягиваются или сжимаются, значит на конкретном участке коры количество нейронов остается прежним. Если бы дело действительно обстояло именно так, то толстые слои (как, например, в глубинных слоях коры в извилинах) содержали бы меньше нейронов, чем тонкие. Данная изометрическая модель, как известно, предполагает, что в процессе развития нейроны сначала мигрируют в кору, которая затем образует складки. Для того чтобы лучше понять процесс, представьте себе сумку с рисом, которая складывается, как кора. Форма сумки меняется, а ее вместимость и количество зерен остается прежним и до образования складки, и после.

Наши исследования плотности нейронов в области префронтальной коры макака резуса показали, что изометрическая модель неверна. Используя количественные измерения на репрезентативных препаратах лобной коры, мы выяснили, что плотность клеток в глубинных слоях извилин и борозд одинакова. И поскольку глубинные слои извилин толще, это означает, что в за-

данном объеме коры клеток больше в извилинах, чем в бороздах.

Наше открытие наводит на мысль о том, что физические силы, заставляющие кору образовывать складки, также влияют и на миграцию нейронов. В пользу такого вывода говорят также исследования развития нервной системы человека. Процессы миграции и образования складок происходят не последовательно, а частично совпадают во времени. Следовательно, возникающие по мере образования складок натяжение и сдавливание влияют также на поздние перемещения нейронов, что в свою очередь определяет состав клеток коры.

Более того, форма отдельных нейронов зависит от местоположения в коре. Например, нейроны, расположенные в глубоких слоях извилин, как бы сдавлены с боков и имеют продолговатую форму, находящиеся же в глубоких слоях борозд, напротив, растянуты вдоль и выглядят расплюснутыми. Такие различия постоянны и происходят из-за механических воздействий во время формирования коры. Особенно интересно выяснить, каким образом эти особенности нейронов извилин и борозд влияют на их функционирование.

Наша компьютерная модель позволяет предположить, что, например, из-за того, что слой коры в извилинах много толще, чем в бороздах, входящим сигналам на дендритах нейронов в нижней части извилин приходится преодолевать больший путь к телу клетки, чем в нижней части борозды. Эту гипотезу можно проверить, зафиксировав временные различия в активности нейронов различных

участков коры головного мозга. Насколько нам известно, подобные работы до сих пор не проводились.

Трехмерное влияние

Чтобы полностью понять взаимодействие между формой и функционированием коры, ученым придется обследовать еще не один мозг. К счастью, сегодня при помощи неинвазивных методов, таких как структурная магнитно-резонансная томография, можно изучить мозг человека при жизни, а также при помощи компьютера реконструировать его строение в трех измерениях. Поэтому мы можем получить огромное количество изображений мозга — значительно больше, чем когда-либо удавалось изучить специалистам, работающим с мозгом после смерти. Современные исследователи систематически анализируют полученные базы данных, используя сложные компьютерные программы, которые позволяют рассматривать форму мозга. Одна из ключевых находок в данной области свидетельствует о том, что существуют значительные различия между формой коры здоровых людей и пациентов с психическими расстройствами, проявившиеся еще во время развития, когда нейроны, их связи и складки коры только формировались. Это наблюдение легко объяснить, учитывая роль механических связей в соотношении нервных путей и складок коры.

Исследования этой проблемы все еще находятся на ранней стадии. За последние годы несколько лабораторий показали, что мозг пациентов, страдающих шизофренией, имеет менее выраженные склад-

ОБ АВТОРАХ

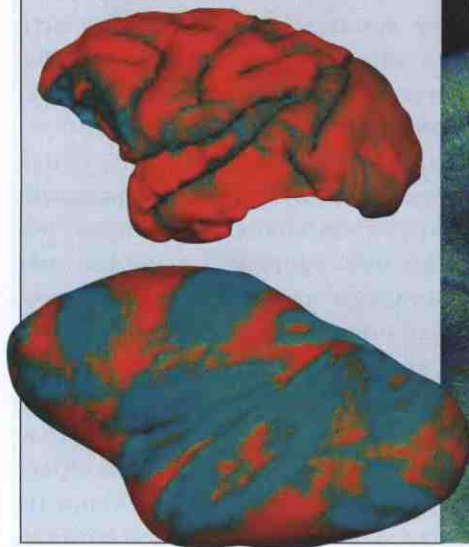
Хелен Барбас (Helen Barbas) — профессор Бостонского университета, где она занимается исследованием префронтальной коры. Барбас защитила кандидатскую диссертацию в Университете Макгилла. Ее интересуют не только паттерны нейрональных связей, но и причудливые узоры окружающей природы, что делает ее заядлым садоводом. **Клаус Хильгетаг** (Claus C. Hilgetag) — доцент в области нейронаук в Университете Св. Якова в Бремене. Доктор Хильгетаг работает в этом новом научно-исследовательском университете с момента основания отделения в 2001 г. Сфера его исследований — вычислительные центры по анализу нейрональных связей головного мозга.

ВЗГЛЯД ИЗНУТРИ

Физические взаимодействия нейронов определяют различные аспекты строения и функционирования коры головного мозга от макростроения — толщины извилин и борозд (А) — до распределения клеток по слоям (В) и формы самих нейронов (С)

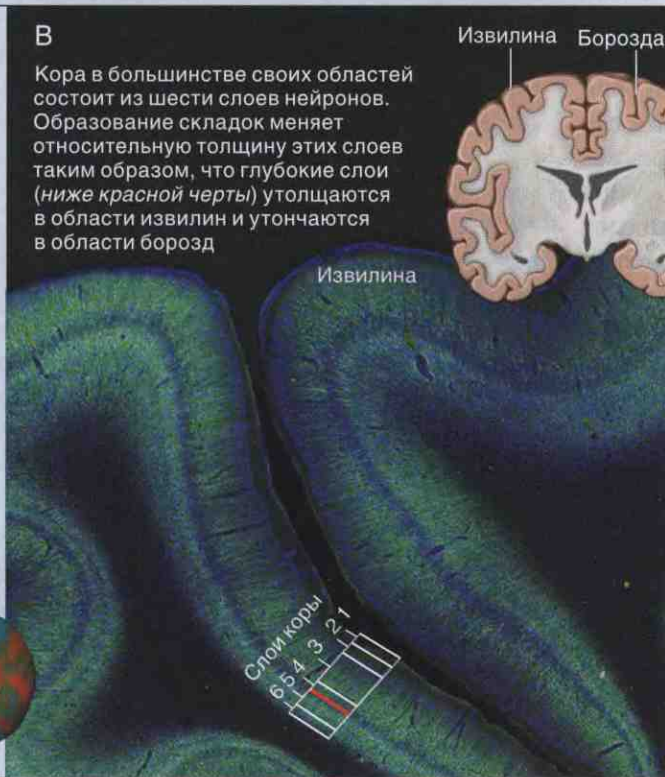
А

Как видно на изображении мозга макака резуса (сверху), кора в области извилин толще (красный), чем в области борозд (синий). Снизу приведено изображение того же мозга с расправленной корой (как при надувании шарика)



В

Кора в большинстве своих областей состоит из шести слоев нейронов. Образование складок меняет относительную толщину этих слоев таким образом, что глубокие слои (ниже красной черты) утолщаются в области извилин и утончаются в области борозд



С

Нейроны глубоких слоев коры в области извилин сжаты с боков и имеют продолговатую форму (сверху). Нейроны, расположенные в глубоких слоях борозд, напротив, растянуты вдоль и выглядят расплюснутыми (внизу). Каким образом подобные различия формы клеток связаны с функционированием, пока не изучено



ки коры, чем мозг здоровых людей. Эти результаты противоречивы, т.к. положение и характер изменения складок у людей сильно разнятся. Тем не менее мы можем с уверенностью утверждать, что форма мозга у шизофреников и здоровых людей в целом отличается. Обычно специалисты объясняют шизофрению нарушением нейрохимического равновесия мозга. Новые работы показывают, что в основе этого заболевания также лежат изменения в проводящих путях мозга, но природа этих трансформаций остается неясной.

У людей с аутизмом также наблюдаются отклонения от нормы по форме складок коры: некоторые из борозд глубже и смещены относительно их положения в здоровом мозге. В свете этих данных ученые склоняются к тому, что аутизм возникает в результате неправильного образования связей в мозгу. Исследования функционирования мозга говорят в пользу этой гипотезы. Показано, что у людей с аутизмом пе-

редача информации между соседними областями коры возрастает, в то время как между дальними ослабевает. В результате таким пациентам сложно игнорировать незначимые события и переключать внимание в нужный момент.

Психические заболевания и возникновение у людей сложностей при обучении могут быть связаны и с отклонениями в развитии слоев коры. Например, в конце 70-х гг. XX в. Альберт Галабурда (Albert Galaburda) из Гарвардской медицинской школы обнаружил, что при дислексии пирамидные нейроны, образующие главную коммуникационную систему коры головного мозга, смещаются относительно своего положения в норме в слоях центров речи и слуховых областей лобной коры. Шизофрения также может отразиться на архитектуре коры: у больных наблюдаются отклонения в плотности клеток коры лобных долей. Неправильное распределение нейронов по слоям приводит к нарушению паттерна их

связей, что значительно снижает возможности нервной ткани в ее главной функции — передаче информации. Ученые только начинают изучать структурные отклонения в коре головного мозга людей, страдающих аутизмом. Возможно, в будущем данные исследования помогут раскрыть причины этого таинственного заболевания.

Для того чтобы выяснить, влияют ли другие неврологические заболевания, возникающие во время развития, на количество и распределение нейронов по слоям коры, требуются дополнительные исследования. Рассмотрение шизофрении и аутизма как недугов, меняющих функционирование нервных сетей по всему мозгу, а не только отдельных его частей, может привести к появлению новых стратегий диагностики и лечения. Например, пациентам с упомянутыми нарушениями помогут упражнения, требующие одновременного включения различных областей мозга, как в случае дислексии в обучении помогает использование соче-

тания визуальных и мультимодальных материалов.

Современные методы картирования мозга также позволяют ученым проверить идею френологии о том, что складки коры или количество серого вещества в различных ее областях отражают таланты человека. В этом вопросе также непросто связать форму и функционирование мозга. Наиболее четкое взаимоотношение прослеживается у людей, которые регулярно занимаются определенными координируемыми умственными и физическими упражнениями.

Наглядный пример — профессиональные музыканты. Этим людям приходится постоянно упражняться. В результате их мозг сильно отличается от мозга немусыкантов в области моторной коры, отвечающей за контроль сложных манипуляций с музыкальным инструментом. Иные паттерны организации складок коры, позволяющие отличать людей с различными формами интеллектуальной одаренности, пока ускользают от внимания исследователей.

Досадные отклонения

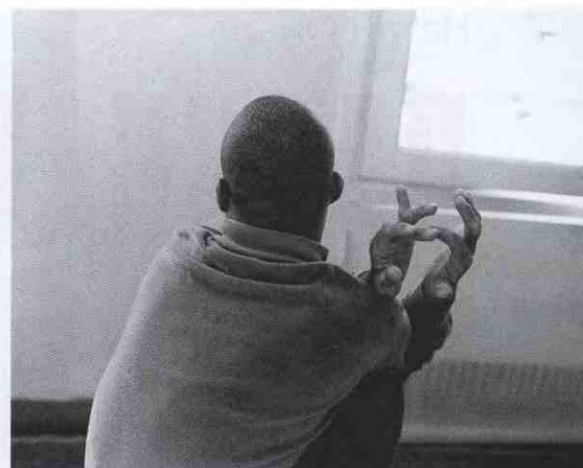
Нам еще предстоит во многом разобраться. Во-первых, мы еще не поняли, как отдельные извилины принимают определенную форму и достигают определенного размера. Для нас это такая же загадка, как причины разнообразия форм носа или уха у людей. Различия — очень сложная проблема. Возможно, в будущем математические модели помогут описать различия в физических взаимодействиях между нейронами в процессе развития коры. Из-за сложности физических взаимодействий и ограниченности доступных данных о развитии, на данный момент существуют лишь предварительные модели.

Ученые также хотят знать как можно больше о том, как кора развивается. Предел их мечтаний — составить таблицу времени складывания множества различных связей, которые образуют все многообразие системы передачи информации в мозге. При помощи мечения ней-

ронов на животных мы сможем определить, когда формируются определенные области коры во внутриутробном развитии, что в свою очередь позволит влиять в рамках эксперимента на развитие нейронов на различных этапах. Информация о последовательности событий в процессе развития позволит понять, что приводит к отклонениям в строении и функционировании мозга. Целый ряд неврологических заболеваний с сильно различающимися симптомами, такие как шизофрения, аутизм, синдром Вильямса, детская эпилепсия и другие, могут оказаться результатом патологического образования связей на различных этапах развития, влияющего на области мозга, слои и наборы нейронов, которые продолжают рождаться, мигрировать и образовывать новые контакты, несмотря на то что процесс развивается в неверном направлении.

Естественно, механические взаимодействия — не единственные силы, участвующие в формировании мозга. Сравнение формы мозга людей показало, что она более схожа у близких родственников, что указывает на значительный вклад генетических программ. Возможно, генетика определяет время развития коры, в то время как элементарные физические взаимодействия придают ей форму по мере того как клетки рождаются, мигрируют и образуют связи в самоорганизующемся мозге. Данное сочетание факторов помогает объяснить заметное межиндивидуальное постоянство первичных складок, а также значительные отличия мелких изгибов, которые неодинаковы даже у однояйцевых близнецов.

Многие современные теории, объясняющие строение мозга, прошли полный цикл, начавшийся с идеей о связи его формы и функционирования, предложенных более века назад. Систематическое сравнение коры здоровых людей и пациентов с нарушениями работы головного мозга подтверждает, что ландшафт его поверхности коррелирует с пси-



ФОРМА И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ: у людей с аутизмом и другими психическими расстройствами, проявляющимися на стадии развития плода, складки коры отличаются от складок коры здорового мозга. Возможно, у таких пациентов также меняется клеточный состав слоев коры

хическими функциями и их нарушениями.

Даже используя продвинутые методы исследования мозга, специалисты по-прежнему не могут отличить кору гения от коры преступника. Новая модель формирования складок, учитывающая генетику и физические взаимодействия, поможет объединить известные нам данные о морфологии, развитии и нейрональных связях, а также раскрыть эту и многие другие тайны человеческого мозга. ■

Перевод: Т.Н. Лапшина

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- On Growth and Form. D'Arcy Wentworth Thompson. Reprinted edition. Cambridge University Press, 1961.
- A Tension-Based Theory of Morphogenesis and Compact Wiring in the Central Nervous System. David C. Van Essen in Nature, Vol. 385, pages 313–318; January 23, 1997.
- Postcards from the Brain Museum: the Improbable Search for Meaning in the Matter of Famous Minds. Brian Burrell. Broadway, 2005.

Натан Фиала

ПАРНИКОВЫЙ гамбургер

Производство говядины наносит серьезный ущерб экологии: в его процессе в атмосферу Земли выбрасывается огромный объем парниковых газов, удерживающих тепло

Многие из нас знают, что автомобили, электростанции, работающие на угле, и даже цементные заводы оказывают неблагоприятное воздействие на окружающую среду. Вплоть до последнего времени никто не включал в этот список производство продуктов питания. Между тем, согласно докладу Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО) за 2006 г., при производстве мясной продукции в атмосферу выбрасывается значительно больше парниковых газов — углекислого газа (CO_2), метана, закиси азота и других, — чем в результате работы транспорта или промышленности. (Парниковые газы задерживают солнечную энергию,

способствуя нагреванию земной поверхности. Поскольку они различаются по своей парниковой способности, это качество каждого из них выражается в количестве CO_2 , обладающем эквивалентным потенциалом глобального потепления.)

В докладе ФАО указывалось, что на долю нынешнего производства мяса приходится от 14 до 22% тех 36 млрд т « CO_2 -эквивалента» парниковых газов, что вырабатываются в мире ежегодно. Оказывается, для получения 225-граммового гамбургера, мясной котлеты кому-то на завтрак, в атмосферу Земли должно быть выброшено такое же количество парниковых газов, как при езде на автомобиле весом 1 т 360 кг на расстояние около 16 км.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

- Производство говядины более чем в 13 раз опережает производство куриного мяса по выработке парниковых газов, способствующих глобальному потеплению, и в 57 раз — выращивание картофеля.
- Потребление говядины быстро растет из-за увеличения численности населения и повышения спроса.
- По объему парниковых выбросов производство годового говяжьего рациона среднего американца соответствует пробегу автомобиля почти в 2,9 тыс. км.

Действительно, любая потребляемая нами пища, включая фрукты и овощи, предполагает скрытые природоохранные издержки: использование транспорта, холодильного оборудования и горючего для возделывания сельхозкультур, а также выделение метана растениями и животными, что ведет к увеличению содержания парниковых газов в атмосфере. В частности, как отмечают в предназначенном для города Сизтла докладе исследователь Дэниел Морган (Daniel J. Morgan) и его коллеги из Вашингтонского университета, при выращивании в Перу всего лишь 225 г спаржи в атмосферу планеты выбрасываются парниковые газы в объеме эквивалента 34 г CO_2 — результат применения инсектицидов и удобрений, работы насоса для полива, а также использования малоэкономичной сельхозтехники. Охлаждение и доставка этого количества спаржи американским потребителям увеличивает данный показатель на 56,6 г, доводя итоговый CO_2 -эквивалент до 90,6 г.

Впрочем, все это пустяки в сравнении с производством говядины. Как установила в 1999 г. Сюзан Субак (Susan Subak), экономист-эколог из Университета Восточной Англии, в зависимости от метода выращивания скота коровы выделяют от 70 до 133 г метана на каждые 450 г получаемой от них говядины. Поскольку по своему потенциалу глобального потепления метан примерно в 23 раза превосходит CO_2 , подобные его выбросы эквивалентны поступлению в атмосферу от 1 кг 620 г до 3 кг 60 г углекислого газа на каждые 450 г такой говядины.

Выращивание скота требует также большого количества корма на единицу живого веса. По оценкам, сделанным в 2003 г. исследователями Лукасом Рейндерсом (Lucas Reijnders) из Амстердамского университета и Сэмом Соретом (Sam Soret) из Университета Лома Линда, для получения 450 г животного белка в виде говядины требуется более 4,5 кг раститель-

ного белка — не говоря уже о дополнительных выбросах парниковых газов, связанных с выращиванием кормового зерна. Наконец, сами по себе животноводческие фермы производят значительное количество разных отходов, которые способствуют образованию парниковых газов.

Принимая во внимание эти факторы, Субак рассчитала, что производство 450 г говядины на специальной площадке — система «интенсивного откорма скота по замкнутому циклу» (CAFO) — означает выработку эквивалента 6 кг 660 г углекислого газа. Это более чем в 36 раз превосходит CO_2 -эквивалент выброса парниковых газов при получении такого же количества спаржи. По интенсивности воздействия на окружающую среду с говядиной не сравнится ни один из распространенных видов мяса. Так, по моим оценкам, производство 450 г свинины равноценно выработке 1 кг 710 г, такого же количества куриного мяса — 495 г CO_2 -эквивалента парниковых газов. Таким образом, экономически эффективная система CAFO, хотя и не представляет собой экологический идеал, но все же намного превосходит в этом отношении большую часть существующих в настоящее время методов производства данной мясной продукции. Судя по показателям в упоминавшемся выше докладе ФАО, средний мировой объем парниковых выбросов от производства такими методами 450 г говядины в несколько раз больше аналогичного показателя при использовании системы CAFO.

Варианты решения

Как решить эту проблему? Совершенствование методов животноводства и ликвидации отходов, без сомнения, уменьшило бы «углеродный след» в производстве говядины. Например, системы улавливания метана позволяют использовать отходы жизнедеятельности коров для выработки электроэнергии. Но из-за высокой стоимости подобных систем они пока не могут стать экономически эффективными.



Люди также могут способствовать уменьшению воздействия производства продуктов питания на климат планеты. Ведь в какой-то степени мы ответственны за формирование своего рациона, и более осмысленный подход к выбору пищевых продуктов может сыграть свою роль. В частности, предпочтение продуктов местного производства уменьшает потребность в грузовых перевозках — даже если оказывается, что доставка продуктов с местных ферм небольшими партиями на грузовиках дает весьма скромное сокращение выбросов парниковых газов.

Наконец, в США и в других развитых странах люди вполне могли бы потреблять меньшее количество мяса, особенно говядины. Приведенные на следующем развороте диаграммы и схемы подтверждают связь между производством говядины и парниковыми выбросами. Общий вывод очевиден: если мы действительно намерены уменьшать объемы поступления парниковых газов в атмосферу, то необходимо обдуманно подходить к своему рациону, исходя из возможных губительных последствий для всей планеты. ■

Перевод: А.Н. Божко

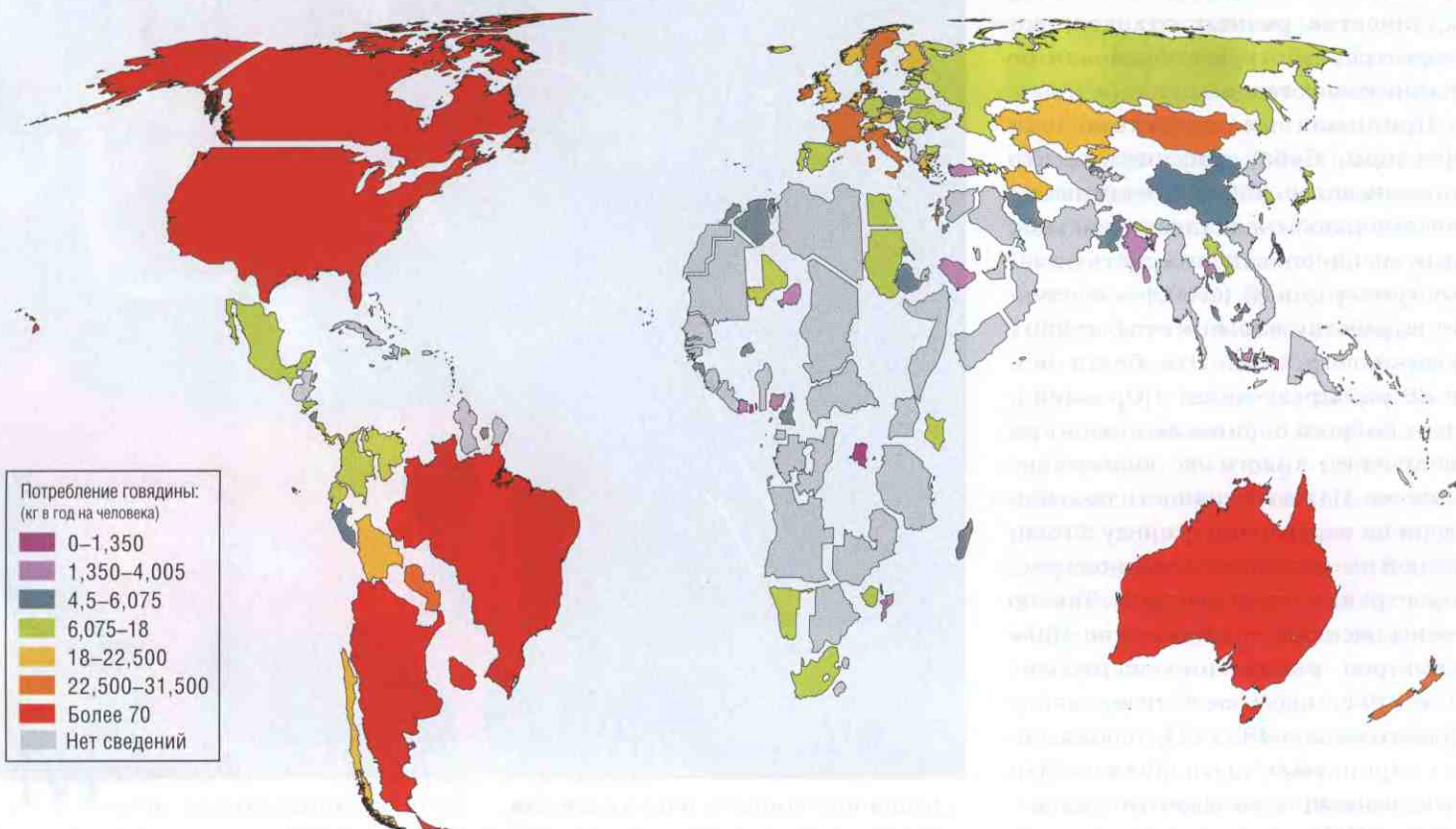
ОБ АВТОРЕ

Натан Фиала (Nathan Fiala), доктор экономики филиала Калифорнийского университета в г. Ирвайн, специализируется на воздействии на окружающую среду пищевых привычек человека. Он также производит оценку научно-технических проектов Международного банка реконструкции и развития в Вашингтоне. В свободное время увлекается кино и плаванием под парусом. Его исследование о воздействии на окружающую среду производства мяса, лежащее в основе настоящей статьи, недавно было опубликовано в США в журнале *Ecological Economics*.

ГАМБУРГЕРЫ ИЛИ СОЕВЫЙ ТВОРОГ?

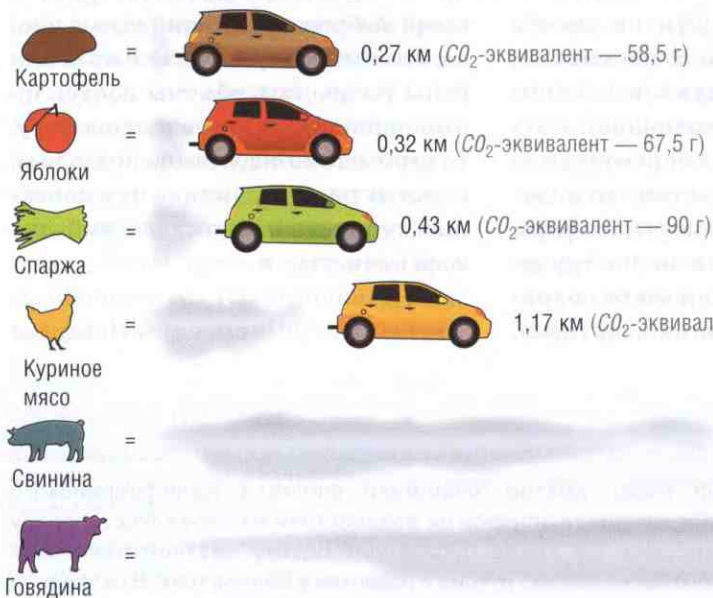
Ежегодное потребление говядины на душу населения колеблется от 54 кг в Аргентине и 41 кг 400 г в США до всего лишь 450 г в такой небольшой восточноевропейской стране, как Молдова; среднемировой годовой уровень потребления — примерно 9 кг 900 г на человека. Различия в окраске стран на приведенном рисунке и искажение

их обычных очертаний отражают отклонение от соответствующего среднемирового показателя. Мировое потребление говядины на душу населения возрастает — особенно в Азии — по мере экономического развития; получая более высокие доходы, люди покупают более желаемую для себя пищу



ЕДА И ЕЗДА: СООТНОШЕНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ ДЛЯ АТМОСФЕРЫ

Производство 225 г данного продукта соответствует по величине CO_2 -эквивалента парниковым выбросам от езды на автомобиле на расстояние ...

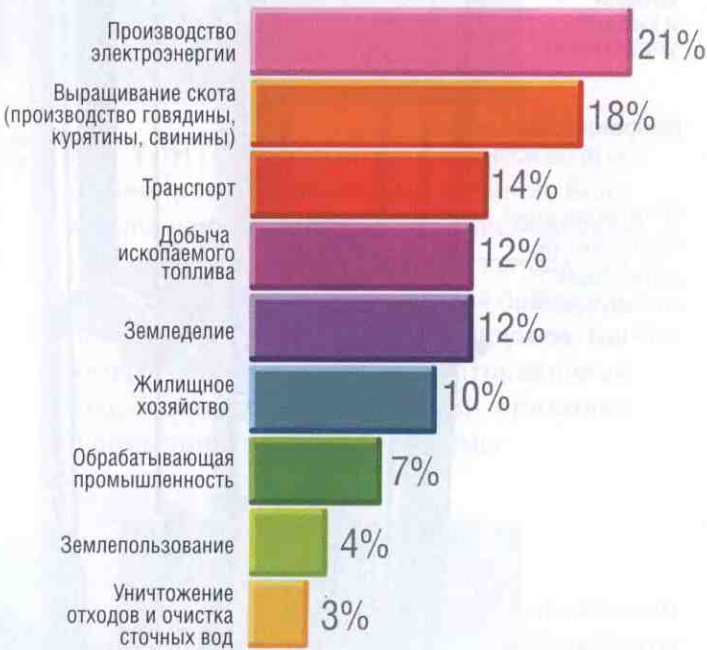


Для оценки объема выбросов парниковых газов при производстве различных пищевых продуктов можно сравнить их с аналогичными выбросами от работы двигателя пассажирского автомобиля, потребляющего 1 галлон бензина (3,78 л) на 27 миль (43,4 км) пути. При расчете объема выбросов предполагается, что каждым гектаром почвы ежегодно поглощается 1000 кг углерода (т.е. примерно 3001 кг углекислого газа) — при условии, что эта почва покрыта лесом или какой-то иной растительностью, и с нее не собирается каждый год урожай пищевых или кормовых культур. Парниковые газы — например углекислый газ (CO_2) и метан — задерживают солнечную энергию, способствуя нагреванию земной поверхности. Объем парниковых газов часто выражается в виде CO_2 -эквивалента, т.е. такого количества углекислого газа, которое обладает тем же потенциалом глобального потепления



ВЫСОКАЯ ПЛАТА ЗА МЯСО

В процессе мирового производства мяса (говядина, курятина, свинина) в атмосферу выбрасывается больше парниковых газов, чем при работе любых видов транспорта или промышленных производств в мире. По оценкам автора, сделанным на основе сведений Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО), а также базы данных о выбросах для глобальных атмосферных исследований (ЭДГАР), при нынешнем объеме производства мяса в атмосферу планеты каждый год выбрасывается около 6,5 млрд т CO_2 -эквивалента парниковых газов, что составляет примерно 18% от ежегодного мирового уровня 36 млрд т. Лишь производство электроэнергии опережает по выработке парниковых газов выращивание скота в пищевых целях



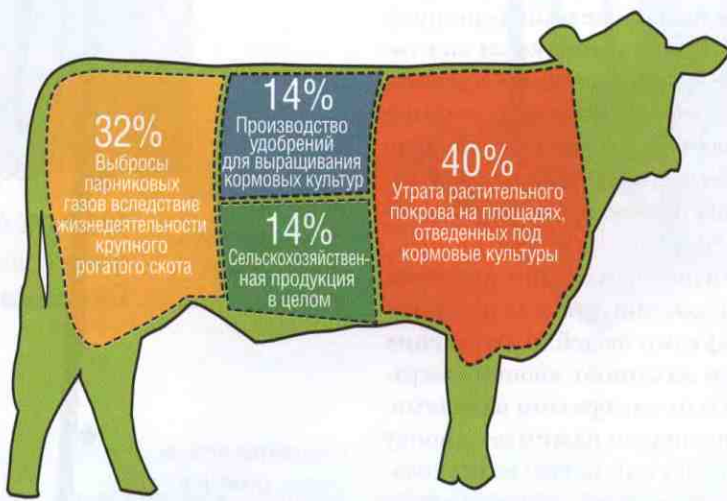
РАСТУЩИЙ АППЕТИТ

	Потребление говядины в США (млн т.)	CO_2 -эквивалент парниковых выбросов от производства говядины в США (млн т)	Мировое потребление говядины (млн т)	CO_2 -эквивалент парниковых выбросов от мирового производства говядины (млн т)
2009 (прогноз)	14	210	72	1,100
2020 (прогноз)	15	230	80	1,200
2030 (прогноз)	17	250	87	1,300
Всего (2009–2030)	340	5,000	1,800	26,000

Мировое потребление говядины растет со скоростью около 1% в год — отчасти из-за увеличения численности населения, но во многих странах еще и из-за возросшего душевого спроса на эту продукцию. Как показывает экономический анализ, если бы вся говядина в мире производилась по экономически эффективной системе «интенсивного откорма скота по замкнутому циклу» (CAFO) — т.е. содержание животных на специальных площадках, сокращающее объем выбросов парниковых газов по сравнению со многими другими привычными системами животноводства, — то к 2030 г. в результате этого вида производства все равно выделялось бы 1 млрд 300 млн т CO_2 -эквивалента парниковых газов. Если нынешние прогнозы мирового потребления говядины верны, то даже при системе CAFO объем CO_2 -эквивалента парниковых выбросов будет расти и через 21 год может составить 26 млрд т

ОБРАЗОВАНИЕ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ГОВЯДИНЫ

Главный фактор парникового эффекта при производстве говядины — утрата поглощающих CO_2 деревьев, трав и прочих видов круглогодичного растительного покрова на площадях, где выращиваются и заготавливаются кормовые культуры. Следующий по значению фактор — выделение метана отходами жизнедеятельности животных и непосредственно животными в процессе переваривания пищи. Данный анализ производства в США говядины по системе CAFO был выполнен экономистом-экологом Сьюзан Субак, в то время сотрудницей Университета Восточной Англии



ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Global Environmental Costs of Beef Production. Susan Subak in Ecological Economics, Vol.30, No.1, pages 79–81; 1999.
- Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options. H. Steinfeld, P. Gerber, T. Wassenaar, V.Castel, M.Rosales and C. de Haan. United Nations Food and Agriculture Organization, 2006.
- Meeting the Demand: An Estimation of Potential Future Greenhouse Gas Emissions from Meat Production. Nathan Fiala in Ecological Economics, Vol. 67, No.3, pages 412–419; 2008.

15,78 км (CO_2 -эквивалент – 3 кг 300 г)



7 8 9 10

Марк Фишетти

НАБИРАЯ ВЫСОТУ

Подъемные механизмы — важная часть оборудования зданий. В большинстве зданий с числом этажей больше четырех устанавливаются канатные лифты (на илл.). Электродвигатель в верхней части шахты лифта вращает шкив, через который перекинута тросы, несущие кабину на одном конце и противовес на другом. В лифтах невысокой скорости двигатель вращает шкив через понижающий редуктор. В скоростных лифтах редукторов нет, двигатель вращает шкив напрямую.

В любом случае оборудование занимает целое помещение над шахтой лифта или рядом с ней, которое могло бы стать отличным пентхаусом. Внедрение усовершенствований позволяет строителям втиснуть оборудование в верхнюю часть самой шахты или установить на ее боковой стене. «Мы переходим к безредукторным и более компактным конструкциям, — говорит Джефф Блейн (Jeff Blain), старший менеджер проектов в нью-йоркской компании *Schindler Elevator*. Некоторые компании применяют безредукторные двигатели с постоянными магнитами, которые компактнее традиционных, но стали такими же мощными. А компания *Otis Elevator* стала вместо витых стальных тросов использовать плоские стальные ленты, что позволило уменьшить размеры и шкива, и двигателя.

Одновременно производители подъемных механизмов используют силу тяжести для уменьшения затрат энергии. Противовес, равный по весу кабине с нагрузкой, составляющей 40–45% максимальной, позволяет использовать двигатель меньшей мощности, но когда поднимается пустая кабина, опускание более тяжелого противовеса вызывает выделение избыточной энергии, которая рассеивается в мощных балластных резисторах, превращаясь в тепло. Те же резисторы нужны при опускании кабины с полной нагрузкой, когда она тяжелее противовеса. Однако новые рекуперативные приводы превращают эту бесполезно теряемую механическую энергию в электрическую. «Мы подаем полученную энергию обратно в электросеть здания, где она может быть использована», — говорит Леандр Адифон (Leandre Adifon), вице-президент компании *Otis* по разработке лифтовых систем.

Усовершенствованные технологии управления лифтами повышают эффективность использования людских ресурсов. Чтобы улучшить обеспечение лифтами людей, работающих в офисных зданиях, конструкторы заменяют кнопки «вверх» и «вниз» на площадках дисплеями или сенсорными панелями. Ожидая лифта, человек еще на площадке нажимает кнопку нужного этажа, и компьютер сообщает ему, каким из нескольких лифтов воспользоваться, группируя людей, которым нужен один и тот же или близкие этажи. Компьютер управляет лифтами таким образом, чтобы каждый обслуживал небольшую группу близко расположенных этажей. Такая схема уменьшает время ожидания лифта и расход электроэнергии. ■

➔ **КАНАТНЫЙ ЛИФТ.** Устанавливается в большинстве зданий с числом этажей больше четырех. Поднимают и опускают кабину стальные тросы, удерживаемые в канавках приводного шкива трением





→ РЕГУЛЯТОР оборотов приводится во вращение тросом, связанным с кабиной. Если кабина начинает опускаться слишком быстро, то рычажки с крючками на концах под действием центробежной силы преодолевают усилия нагружающих их пружин, так что крючки зацепляют шкив, останавливая его, и тянут рычаг, который приводит в действие тормозные зажимы



→ ТОРМОЗНЫЕ ЗАЖИМЫ под действием рычага регулятора оборотов сжимают направляющие



→ ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ЛИФТ типичен для зданий с числом этажей не больше четырех. Для подъема кабины используются телескопические гидроцилиндры, жидкость в которые накачивается насосом. Для опускания кабины открывается клапан, через который жидкость из гидроцилиндров спускается обратно в бак

ЗНАЕТЕ ЛИ ВЫ...

СКОРОСТЬ. Лифт *Toshiba Elevator*, установленный в 101-этажном здании *Taipei 101* в Тайбэе на Тайване, считается самым скоростным. Его максимальная скорость составляет 1010 м/мин, так что 100 этажей он проходит за 26 секунд. Чтобы пассажирам не закладывало уши, предусмотрена система вентиляторов, регулирующая давление воздуха в кабине.

БЕЗОПАСНОСТЬ ВАЖНЕЕ ВСЕГО. Тросы лифта рассчитываются так, чтобы они выдерживали 125% веса полностью загруженной кабины, причем кабина обычно подвешивается не менее чем на пяти тросах. Стальные тросы стали настолько прочными, что для удержания нагрузки в 1,6 тыс. кг, обычной для зданий средней высоты, достаточно троса диаметром от 12,7 до 16 мм. Новые плоские стальные ленты аналогичной прочности могут иметь толщину еще меньше — 6,35 мм.

НАКЛОННЫЕ ЛИФТЫ. Некоторые лифты компании *Otis* при подъеме перемещаются и по горизонтали, следуя контурам необычных структур. В них наклонные тросы тянут кабину по рельсам, расположенным по отношению к горизонтали под углами 39° (в пирамидальном отеле *Luxor* в Лас-Вегасе) или 30° (на Эйфелевой башне в Париже).

Темпомиры



Стержневой для книги стала концепция, согласно которой поток данных от органов восприятия обрабатывается в мозге в дискретной форме, в виде нейрофизиологических кадров. Ключом к объяснению стало предположение о переменной длительности кадра. Авторы предлагают метод, который позволяет гипотетическим образом моделировать восприятие реальности в тех временных шкалах, которые

простираются далеко за пределами темпорального жизненного мира реальных живых существ. В фокусе внимания находятся протяженные, замедленные временные шкалы и то, как совмещенный с ними виртуальный наблюдатель мог бы воспринимать мир. Междисциплинарное исследование адресовано специалистам самых разных естественнонаучных и гуманитарных областей: физикам, биологам, нейрофизиологам, психиатрам, философам, психологам, политологам, а также широкому кругу читателей, интересующихся состоянием современной науки и проблемой времени.

Алюшин А.Л., Князева Е.Н.
Темпомиры: Скорость восприятия и шкалы времени М.: ЛКИ, 2008.

Способы и приемы программирования психики



В книге рассматриваются современные возможности управления психикой и поведением людей, обеспечивающие сохранение у них иллюзорного чувства личной свободы, самостоятельности принятия решений. Выявляются и анализируются наиболее эффективные методы и технологии скрытого влияния на сознание и подсознание граждан. На примерах из по-

литической жизни современной России, а также США и некоторых других стран раскрываются важнейшие разновидности политического и иного обмана, способы и приемы программирования психики, внушения и зомбирования, манипулирования людьми, в том числе с помощью новейших достижений науки: синергетических, микрополитических, нейролингвистических и других технологий.

Пугачев В.П. Управление свободой. М.: КомКнига, 2005.

Для специалистов, занимающихся вопросами скрытого управления человеком.

Механика деформируемых твердых тел



В настоящей книге рассматриваются проектные задачи строительной механики, связанные с генезисом структур несущих систем, реконструкцией, усилением, историей возведения сооружений. Формулируются законы и принципы самоорганизации механических систем, методы решения не-

линейных начально-краевых задач морфодинамики. Показано, что предлагаемая теория адаптивной эволюции механических систем представляет собой новый вариант релятивистской механики деформируемых твердых тел. Изложение теории сопровождается решением иллюстративных примеров расчета балок, ферм, рам, пластин, оболочек, массивов.

Васильков Г.В. Эволюционная теория жизненного цикла механических систем. Теория сооружений. Серия: Синергетика: от прошлого к будущему. М.: ЛКИ, 2008.

Книга предназначена для студентов, аспирантов, докторантов, занимающихся исследовательской работой в области механики деформируемых твердых тел. Она может быть полезна инженерам-расчетчикам, а также использоваться в качестве учебного пособия.

Сложные понятия современной науки

Рассказывая о новых наноразмерных модификациях углерода, фуллеренах и нанотрубках, автор доступно объясняет сложные понятия современной науки, акцентируя внимание читателя на взаимовлиянии различных отраслей знания. Обсуждается, как с помощью фуллереноподобных форм природа минимизирует энергетические и «материальные» затраты в разнородных и разномасштабных объектах от молекул и нанокластеров до вирусов и живых организмов. Приводятся примеры достижения подобных целей в архитектуре.

Увлекательные истории современных научных открытий перемежаются экскурсами в глубь времени вплоть до античности и эпохи Возрождения. Книга вызовет интерес как у специалистов и студентов естественнонаучных и инженерных дисциплин, так и у широкого круга читателей.

Кац Е.А. Фуллерены, углеродные нанотрубки и нанокластеры. Родословная форм и идей. Серия: Наука — всем! Шедевры научно-популярной литературы. М.: ЛКИ, 2008.



Классификация электронных приборов

Настоящая книга посвящена специальной области техники — электронным вакуумным лампам. В доступной и увлекательной форме рассмотрены классификация электронных приборов, их история и эволюция, место электронных вакуумных ламп среди других приборов, их роль в развитии цивилизации, попытки гибридизации вакуумных

и полупроводниковых либо вакуумных и газоразрядных приборов. Рассказано о принципах работы, конструкции и технологии сеточных ламп, бегущей волны, клистронов, магнетронов и приборов М-типа и т.д. Отдельно рассмотрены проблемы источников электронов для приборов — термоэлектронных, вторично-электронных и иных катодов,

а также антиэммитеров. Книга адресована широкому кругу читателей, интересующихся техникой и ее историей. Немало полезного в ней найдут инженеры, специализирующиеся в области электроники, преподаватели и студенты технических вузов.

Ашкинази Л.А. Электронные лампы. Из прошлого в будущее. Серия: Наука — всем! Шедевры научно-популярной литературы. М.: 2008.

Четырехмерный мир

В предлагаемой книге отстаивается модель мира, созданная выдающимся математиком Германом Минковским. Ученый был первым, кто понял, что теория относительности, противоречащая классической картине мира, стала отражением принципиально иной картины. Основные черты новой модели исследователь раскрыл в докладе «Пространство и время» 21 сентября 1908 г., однако скоростная смерть оборвала его работу, и в последующие десятилетия в науке утвердилось отношение к идеям Минковского как к искусственному

математическому ухищрению, «четырёхмерному формализму».

Издание рассчитано на читателей, увлеченных постижением глубокой основательности и простоты соотношений, объясняющих релятивистские эффекты. Книга адресована молодым читателям и потому написана так, чтобы ее могли воспринять все, кто владеет линейной алгеброй и математическим анализом в объеме первого курса технического или экономического вуза.

Сазанов А.А. Четырехмерная модель мира по Минковскому. Серия: Наука — всем! Шедевры научно-популярной литературы. М.: ЛКИ, 2008.



Материалы предоставлены интернет-магазином научной книги www.URSS.ru

Праздник госзаказа

В Москве прошел форум-выставка «Госзаказ-2009»

Среди более 300 участников были федеральные органы исполнительной власти, органы исполнительной власти в регионах, департаменты Правительства Москвы, общественные организации, компании и предприятия. Экспозиция была развернута в МВЦ «Крокус Экспо» на площади 10 тыс. кв. м. За три дня работы форум-выставку посетили более 20 тыс. человек. Необычайный интерес общественности и специалистов к выставке объясняется острой актуальностью темы госзаказа. «Объем госзаказа в 2009 г. составит 4 трлн рублей с учетом оборонзаказа, при этом объем государственных закупок у предприятий малого бизнеса составит 800 млрд рублей, или 20%» — сообщила в своем выступлении на

открытии форума заместитель министра экономического развития России А.В. Попова.

Огромный интерес участников и гостей, собравшихся со всей России и из стран ближнего зарубежья, вызвала деловая программа форума: круглые столы и конференция, где обсуждались антикризисные меры правительства, участие малого бизнеса в госзаказе. «Конкуренция за госзаказ в условиях финансового кризиса будет только возрастать, — сообщил на конференции руководитель ФАС И.Ю. Артемьев. — Но при этом будет расти и количество мошенников, стремящихся на нем заработать». Тема противодействия коррупции остро звучала на круглом столе, который вел первый заместитель председателя Комитета

Государственной Думы по безопасности М.И. Гришанков.

Информативные и зрелищные экспозиции представили на форуме-выставке Правительство Москвы, Управление делами Президента РФ, Комитет экономического развития, промышленной политики и торговли Санкт-Петербурга, Правительство Московской области, Министерство здравоохранения и социального развития РФ. НПО «Космос» продемонстрировало свои грандиозные строительные бюджетные проекты — тоннели, мосты и развязки, построенные с использованием новейших инженерных технологий. «АвтоВАЗ» представил четыре спецмашины на базе различных моделей *Lada*. Форум-выставка «Госзаказ-2009» дал возможность российским предпринимателям получить квалифицированную помощь специалистов в области госзакупок в специально оборудованном информационно-консультационном центре, обменяться антикризисным опытом с коллегами. ■

Достижения биотехнологий

Правительства многих стран, в том числе России, уделяют большое внимание развитию биотехнологий. В частности, это продемонстрировал Пятый Московский международный конгресс «Биотехнология: состояние и перспективы развития», проходивший в здании правительства Москвы в марте текущего года.

В конгрессе участвовали представители научно-технической и деловой общественности 33 регионов России и 14 стран дальнего и ближнего зарубежья.

В пленарных заседаниях, международных симпозиумах приняли участие руководители исследовательских организаций, университетов, ответственные работники министерств и ведомств. Впервые за историю проведения конгрессов появилась секция «Нанобиотехнология», которую открыл академик Р.В. Петров. О революционном прогрессе в чтении генетических тек-

тов рассказал академик К.И. Скрябин. Постепенно анализ генома станет обычной процедурой, что поможет точно определять наследственные болезни, составить более полную картину эволюции человека. Кроме того, ученые научились создавать генетические тексты, а это база для получения разного рода наноструктур.

Директор одного из самых успешных в России предприятий высокотехнологичного бизнеса доктор технических наук В.А. Быков рассказал о продукции компании «НТ-МДТ», расположенной в Зеленограде, — атомно-силовых микроскопах. Это же предприятие производит нанофабы, с помощью которых можно создавать изделия размером в десятки и даже единицы нанометров.

Во время проведения конгресса в здании правительства Москвы развернулась также Седьмая Международная специализированная выставка «Мир биотехнологии-2009», в которой принимали участие про-

изводители биотехнологической, микробиологической, иммунологической продукции из 11 стран.

Институт биологического приборостроения РАН из г. Пущино представил мультиферментерную установку для комплексной переработки растительного сырья.

Из зарубежных экспонатов интересным оказалось оборудование Биотехнического центра «ВТС» из Латвии. Как пояснил председатель правления компании Юрис Ванас, микроорганизмы, полученные с помощью их установки, могут найти применение в пищевой, фармацевтической промышленности, для решения экологических проблем, в частности, удаления нефтезагрязнений.

Группа аэропонных технологий ВНИИ сельскохозяйственной биотехнологии РАСХН продемонстрировала автоматизированную установку «Урожай», которая позволяет выращивать безвирусный картофель и проводить научные исследования. ■

Фирюза Янчилина

На заправках будут расти цветы



Может ли школьник улучшить экологию родного города? Может. Доказательством тому стали подведенные итоги регионального этапа III Всероссийского конкурса научно-инновационных проектов «Чистая планета для нашего будущего», проводимого компанией *Siemens*

Ученица 11-го класса Анна Лопес де Гереню из города Пущино Московской области в своем проекте представила решение проблемы загрязнения почв различными видами автомобильного топлива. Именно эта работа была признана лучшей и заняла первое место по Центральному федеральному округу. Конкурсантка продемонстрировала неординарный подход к решению проблемы, представляющей огромную важность, особенно для жителей крупных городов. В рамках подготовки проекта участница конкурса провела целый ряд полевых и лабораторных экспериментов, а также представила экономическое обоснование предложенной идеи. Экспертный совет, состоящий из представителей ведущих вузов, оценил качество исследования, актуальность выбранной темы, а также презентационные способности конкурсанта, представившего свой проект наряду с четырьмя другими участниками, чьи работы были

отобраны экспертами. Темы проектов, присланных на конкурс, отличаются разнообразием: школьники исследовали возможности улучшения качества питьевой воды и способы очистки почв от различных видов загрязнений, решали проблему глобального потепления, изучали психологические аспекты поведения людей и экологическое воспитание школьников. Многие участники выполнили огромное количество экспериментов для проверки теоретических умозаключений на практике, а также разработали рекомендации, способные улучшить существующую экологическую ситуацию в регионах их проживания.

Победа в III Всероссийском конкурсе была нелегкой задачей. По сравнению с прошлым сезоном в этом году было зафиксировано рекордное количество присланных проектов: участниками со всей России, от Калининграда на западе до Камчатки на востоке страны, было подано 1115 заявок и 1005 проек-

тов. По словам вице-президента *Siemens* С.Б. Крылова, результаты этого года действительно впечатляющие. «Наша компания работает над решением важнейших вопросов современного мира, вопросов масштабных и комплексных. И я рад, что в этом нас поддерживают молодые талантливые люди. Ведь количество проектов говорит само за себя — старшеклассники готовы предлагать идеи и не боятся пробовать свои силы». Эксперты отмечают глубину познаний, а также возможность использования результатов многих работ на практике для улучшения качества жизни людей. Второе и третье места в региональном финале ЦФО заняли Марина Красавина из села Покровское на Сити Брейтовского района Ярославской области с непростым проектом «Утилизация органических отходов сельскохозяйственного производства в товарную продукцию с помощью популяций дождевых (компостных) червей вида *Eisenia foetida* селекции «Владимирский гибридный червь Стратель» в условиях школьной вермифермы» и Александра Канищева из г. Белгорода с проектом «Микробиологическое загрязнение централизованных и локальных источников питьевого водоснабжения в г. Белгороде (район Харьковской горы)». Далее победительница регионального этапа Анна Лопес де Гереню будет представлять ЦФО на федеральном финале конкурса, который состоится 22 апреля в Москве.

Победители были награждены сертификатами на получение денежных призов в размере 110, 70 и 20 тыс. рублей в соответствии с занятыми местами. При этом школе, воспитавшей победителя, в качестве подарка досталось видеоборудование: жидкокристаллический телевизор и видеопроигрыватель. Более подробную информацию можно найти на официальном сайте конкурса www.science-award.siemens.ru. ■

Павел Мостинский

Ритм «Пурпурного сердца»

Церемония награждения национальной премией в области кардиологии «Пурпурное сердце» прошла 14 апреля в «Президент-Отеле»



Заявки поступали из самых различных регионов страны: Калининградской, Мурманской областей, Хабаровского края, республики Башкирия и многих других. В экспертный совет премии, председателем которого стал главный кардиолог Минздравсоцразвития РФ Р.Г. Оганов, вошли председатель комитета Государственной думы РФ по охране здоровья О.Г. Борзова и президент Российского медицинского общества по артериальной гипертензии И.Е. Чазова. Функции по координации реализации и организационному обеспечению проекта принял на себя попечительский совет под председательством д-ра Л. Почайи, генерального директора представительства ОАО «Фармацевтический завод Эгис» в России.

В номинации «Мэтр кардиологии» победителем единогласно был выбран член экспертного консультативного совета ВОЗ, академик Е.И. Чазов.

В номинации «Лучший проект года» в подноминации «Социальный проект года» победили ОАО «Оренбургнефть» совместно с Оренбургской государственной медицинской

академией Федерального агентства по здравоохранению и социальному развитию с проектом «Факторы сердечно-сосудистого риска у работников нефтегазовой промышленности». Победителем подноминации «Образовательный проект года» стала кафедра кардиологии медицинской академии им. И.И. Мечникова с проектом «7-я СПб Школа кардиологов, 2008». В подноминации «Научный проект года» победил Научно-исследовательский и испытательный центр биометрической техники МГТУ им. Н.Э. Баумана с проектом «Разработка комплекса аппаратно-программных средств для ранней диагностики заболеваний сердца "Акустокардиограф"».

В номинации «Медицинское учреждение года» в подноминации «Лучший образовательный центр» лауреатом стала кафедра кардиологии медицинской академии им. И.И. Мечникова, в подноминации «Лучшее лечебно-профилактическое учреждение России» — отделение хирургического лечения сложных нарушений ритма сердца и электрокардиостимуляции (Сибирский федеральный аритмологиче-

ский центр) Томского НИИ кардиологии СО РАМН.

Гордостью российской кардиологии как лучший врач-кардиолог года был признан руководитель Сибирского федерального аритмологического центра С.В. Попов, а лучшим врачом-терапевтом года был назван зав. кафедрой госпитальной терапии Рязанского государственного медицинского университета им. академика И.П. Павлова С.С. Якушин.

В номинации «Будущее российской кардиологии» победила врач-кардиолог Красноярского государственного медицинского университета им. профессора В.Ф. Войно-Ясенецкого А.И. Инжутова.

Все финалисты конкурса были отмечены почетными дипломами, а лауреаты были награждены престижными наручными часами, ставшими символом премии. Помимо высокой оценки экспертного совета ряд работ лауреатов был удостоен особого внимания партнеров премии. Победителя в номинации «Будущее кардиологии» А.Н. Инжутову из Красноярска генеральный партнер премии компания «Эгис» — производитель современных препаратов для лечения и профилактики сердечно-сосудистых заболеваний — наградил сертификатом на участие в ежегодном Европейском кардиологическом конгрессе. Еще одной приятной неожиданностью для участников церемонии стал специальный приз: Сибирский федеральный аритмологический центр, лауреат номинации «Лучшее лечебно-профилактическое учреждение», получил сертификат на поставку передового кардиооборудования на сумму 1 млн рублей от официального партнера премии — швейцарской компании SCHILLER AG, ведущего производителя оборудования для функциональной диагностики. Другой официальный партнер «Пурпурного сердца», компания Philips, вручила победителям в номинации «Гордость российской кардиологии» С.С. Якушину и С.В. Попову дефибрилляторы. ■

Анна Кадырова

**Международный симпозиум
«КОСМОС
и глобальная безопасность человечества»
Space & Global Security of Humanity**

На симпозиуме будет рассмотрен комплекс проблем обеспечения глобальной безопасности человечества, создания Международной аэрокосмической системы мониторинга глобальных природных и техногенных явлений, обеспечения устойчивого и гармоничного развития человечества с помощью аэрокосмических технологий.



МЕСТО И ВРЕМЯ ПРОВЕДЕНИЯ
г. Лимассол, Кипр
2-4 ноября 2009 года
Время начала регистрации 10.00.
Открытие в 12.00 часов 2 ноября 2009 года



ОРГАНИЗАТОРЫ

Международная ассоциация "ЗНАНИЕ"
Международная академия астронавтики (IAA)
Российская академия космонавтики имени К.Э. Циолковского



«Целью создания Международной аэрокосмической системы мониторинга глобальных природных и техногенных явлений является эффективное развитие и совместное использование аэрокосмического потенциала, передовых технологий мониторинга и методов обработки стран мира для обеспечения глобального оперативного и краткосрочного прогноза стихийных бедствий и техногенных катастроф в интересах снижения опасности и негативных последствий для населения и экономического потенциала мирового сообщества».

Вице-президент Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского
Меньшиков В.А.

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ и АККРЕДИТАЦИЯ

Текущая информация, условия участия, программа, формы заявок, демонстрации, презентации, правила оформления тезисов, докладов и другие материалы на сайте:

www.spacesystems.ru

КОНТАКТЫ

Российская академия космонавтики имени К.Э. Циолковского
Вице-президент: **Меньшиков** Валерий Александрович.
141091, Московская обл., г. Юбилейный,
ул. М.К. Тихонравова дом 27
Координатор симпозиума: **Цадиковский** Евгений Иосифович
Тел./факс +7 495 543 38 68; +7 495 785 79 29;
e-mail: top@spacesystems.ru



Анатолий Гендин

ОЛИВКИ ИЛИ МАСЛИНЫ?

Один из вечных для нас гастрономических вопросов — про атласно-черные маслины: родственники ли они зеленым оливкам, и если да, то как и почему приобретают свой цвет?

Интрига в том, что в процессе созревания, прямо на дереве, оливки меняют свой цвет от светло-зеленого до фиолетового и совсем черного. Вот эти темные плоды и известны у нас под названием «маслины»; в странах происхождения их обычно так и называют — «черные оливки». Занятно, что в свежем виде оливки любого сорта, цвета и степени зрелости совершенно несъедобны — очень горькие, зато после засолки или маринования они приобретают приятный пикантный вкус.

Родиной оливкового дерева (*Olea europaea*) считается Греция. Археологи убедительно доказали, что и 4,5 тыс. лет назад предки нынешних греков точно так же торговали оливками и употребляли оливковое масло, как и их далекие по-

томки. Тогдашние жители острова Крит даже использовали это масло в качестве универсального плащежного средства — ввиду его всеобщей и бесспорной ценности. Не имевшие никакого понятия о сложных физико-химических процессах ферментации простые гречанки с древних времен ухитрялись отлично мариновать, засаливать и даже

ОБ АВТОРЕ

Анатолий Александрович Гендин — кандидат исторических наук, гастрономический журналист, писатель, автор серии гастрономических путеводителей «АТЛАС ГУРМАНА», директор информационного агентства «Локатор».

вялить оливки в сотнях разных вариантов. Классическому и очень живописному «деревенскому» греческому овощному салату (*horiatiki salata*, с крупными кольцами репчатого лука и квадратами сыра-феты) именно темно-коричневые соленые маслины с характерным сизым отливом придают элегантную завершенность и вкусовую гармонию.

При том, что оливковые плантации есть сейчас на всех континентах, в пределах Средиземноморья по-прежнему сосредоточено 98,5% производства оливкового масла, а Греция со своими 130 млн оливковых деревьев (наиболее известные сорта — *Kalamata*, *Koroneiko*, *Naphlion*) числится в тройке мировых лидеров этой отрасли. Не случайно каждый грек в среднем потребляет примерно 20 л оливкового масла в год.

Оливковые рощи вызывают обычно неожиданное ощущение простора, поскольку раскидистые деревья с характерными узкими и длинными листьями серебристо-зеленого

цвета растут на некотором расстоянии друг от друга. Живут они по несколько сотен лет, известны долгожители, которым далеко за тысячу. За сезон каждое дерево дает до 40–50 кг плодов, бывает и до 100.

Сортовое разнообразие этих растений поразительно. В одной только итальянской Тоскане насчитывают около 600 сортов оливок. Понятно, что далеко не все из них культивируются в промышленных масштабах; главные роли играют всего четыре основных сорта — *Frantoio*, *Pendolino*, *Leccino*, *Moraiolo*. У каждого из них есть свои особенности и по срокам созревания, и по вкусу будущего масла; они по-разному реаги-

руют на засуху и прочие погодные превратности. Многие зависит и от конкретного места, где расположена плантация. Скажем, оливковые рощи из приморских районов с более мягким климатом на юго-западе Тосканы и масло дают с более нежным, округлым вкусом.

Перед засолкой с разными травами и пряностями оливки обычно вымачивают в нескольких водах, чтобы убрать излишнюю горечь. Самые простые рецепты дают готовый к употреблению продукт уже через одну-две недели, более сложные требуют выдержки в несколько месяцев. Есть и оригинальные способы приготовления: например, на юге



Франции зимой после очень крутого засола оливки в течение нескольких суток выставляют на улицу под ночные заморозки. Иногда перед маринованием оливки немного придавливают, отчего они лопаются, а мякоть становится более просоленной и сочной. Кучка оливок в керамической плоской тарелке — обязательный элемент традиционного испанского стола. Идеальная закуска к сухому испанскому хересу — именно оливки самого разного посола, но не маслины, их в этом случае подавать не принято.

Отдельный кулинарно-гастрономический жанр во всех средиземноморских странах — оливки с начинкой: с анчоусами, перцем (как сладким, так и острым), чесноком, орешками... В старинном итальянском городке Асколи-Пичено фирменное блюдо — как раз фаршированные оливки, они так и называются — *olive fritte all'ascolana*, «оливки, обжаренные по-асколански». Крупные и продолговатые плоды хорошенько просаливают, вырезают косточку, а образовавшееся пространство заполняют мясным фаршем. Дальше просто: готовые олив-

ки нужно обвалять в муке, окунуть во взбитые яйца, обвалять в сахарной крошке и обжарить в сильно разогретом оливковом масле. Этот региональный деликатес принято есть руками; покажете при случае свою осведомленность по этой части — заслужите искреннее уважение местных жителей.

Между тем абсолютное большинство всех оливок в мире идут на переработку: из них делают оливковое масло. Несмотря на свою видимую твердость, оливки требуют очень аккуратного и даже нежного обращения, поэтому для производства по-настоящему качественного масла их собирают только вручную. Сбор урожая происходит довольно долго; в некоторых местах его начинают в конце лета, а заканчивают в начале зимы или даже в начале следующего года. Из сырья, собранного с одного урожайного дерева, может получиться до 20 л масла.

Принципиальная технология этого производства за прошедшие тысячелетия ничуть не изменилась. Сначала целые плоды вместе с косточками давят, и этот этап прес-

сования очень важен: лучше, если он происходит деликатно, а косточки остаются целыми, иначе у масла появится не очень приятный горьковатый привкус. Как ни странно, но наиболее бережно с оливками обходятся огромные конусообразные каменные жернова; именно такими пользовались древние любители этого продукта, их же по-прежнему используют многие современные производители. В большинстве случаев при производстве масла оливки не сортируют по цвету, в ход идут все подряд, от бледно-зеленых до темно-фиолетовых. Для отжима полученную оливковую массу закладывают между круглыми плетеными матами, после чего разделяют

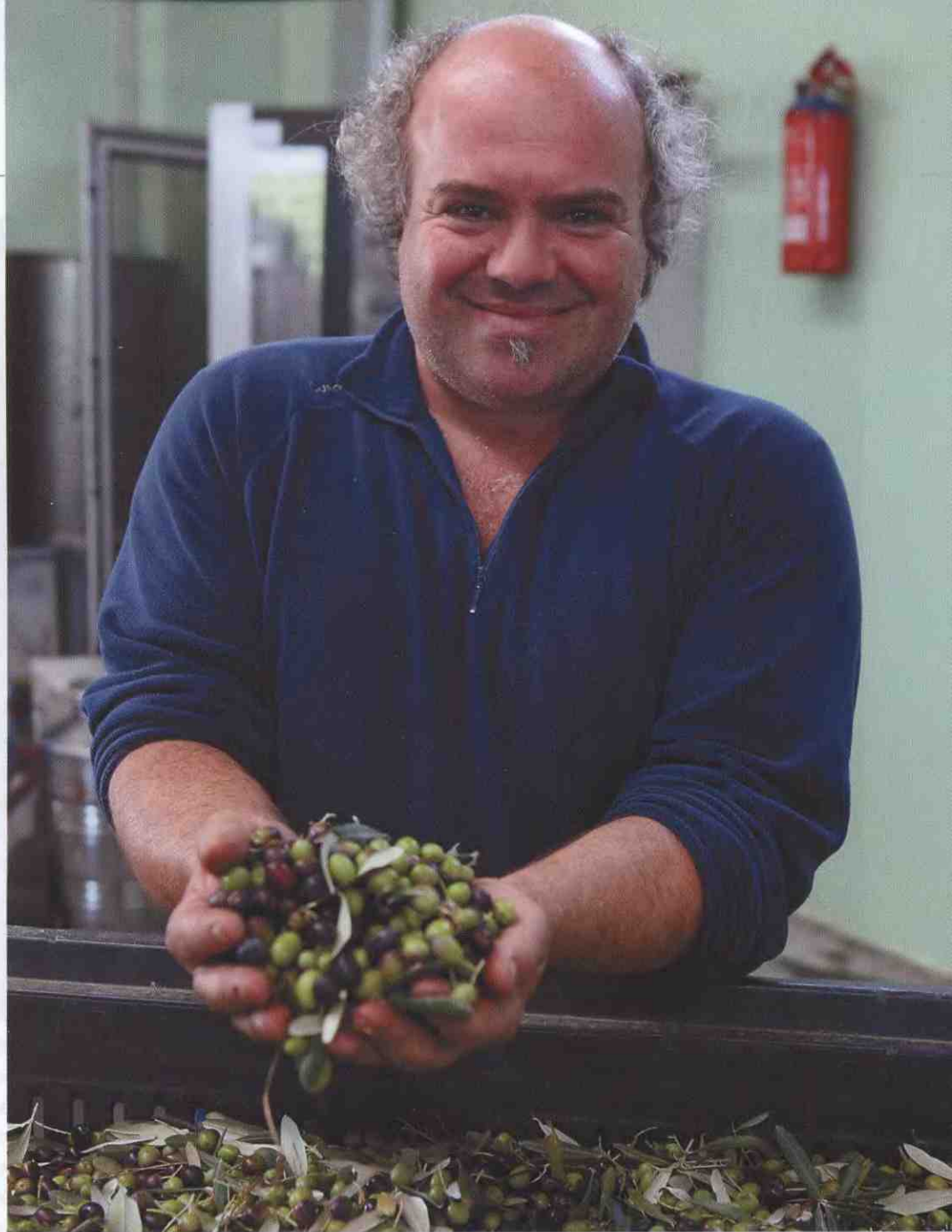


собственно масло и воду. Чем свежее отжатое оливковое масло, тем отчетливее его характерный аромат свежескошенной травы.

Самое лучшее масло дает так называемый «первый холодный отжим»; на испанских бутылках или банках в таких случаях может быть указано *Primer prensado en frio*, на этикетках оно помечается как *extra virgin*, а его кислотность не превышает 1%. Холодным такой способ называется в отличие от обработки уже использованного жмыха паром или горячей водой под большим давлением. Если на бутылке значится просто *olive oil*, то вы держите в руках смесь прессованного и рафинированного масел, и пропорция может быть самой разной — производители о ней не сообщают. Отсутствие указания на точное происхождение масла может означать смесь сырья из разных стран. Вопреки распространенному потребительскому заблуждению цвет оливкового масла не связан напрямую с его качеством, т.е. более зеленое не обязательно лучше желтоватого.

Обычно срок реализации оливкового масла — не больше года, но лучше всего его использовать в течение первого полугодия после отжима. Качественное оливковое масло разливают в бутылки из темного стекла, хранить их нужно в сухом темном прохладном месте, некоторые производители в качестве оптимальной даже советуют «температуру винного погреба», то есть 12° С. При пониженной температуре масло *extra virgin* становится белым и густым как мед, но это не признак порчи — при комнатной температуре оно возвращает все свои свойства. Распечатанную бутылку лучше употребить в течение месяца-полутора, иначе вкус масла начнет меняться, да и посторонние запахи оно хорошо впитывает.

И оливки с маслинами, и оливковое масло относятся к важнейшим ингредиентам так называемой «средиземноморской» диеты, одной из самых здоровых в мире. Из всех растительных масел именно оливковое лучше всего усваивается человеком в любом возрасте. Диетологи прос-



то захлебываются от восторга, перечисляя его исключительно полезные свойства и разъясняя механизм его благотворного влияния на сердечно-сосудистую и кровеносную систему, опорно-двигательный аппарат и органы пищеварения. К тому же его сортовое разнообразие позволяет подобрать подходящее на все вкусы и любые кулинарные потребности. Кстати говоря, далеко не всегда целесообразно использовать оливковое масло максимально высокого качества. Скажем, масло *extra virgin* идеально для салатов и вообще для употребления в свежем виде, но жарить на нем нельзя — быстро пригорает, да и жалко — все-таки дорого. Для сковородки оптимально рафинированное масло попроще и подешевле, по цвету оно пожелтеет, а запаха и вкуса обычно вообще ли-

шено, что и к лучшему — не будет влиять на вкус и аромат готового блюда. В арсенале опытных ресторанных поваров всегда несколько или даже много разных сортов масла от разных производителей и даже из разных стран — на все случаи кулинарной жизни. А у некоторых фирменных блюд нужный букет получается лишь при смешивании определенных масел в секретной пропорции.

В последнее время стали очень популярны самодельные масляные настойки в деревенском средиземноморском стиле — это когда в бутылку с оливковым маслом бросают пару зубчиков чеснока, или несколько маленьких, но ядерных перцев чили, или веточку розмарина. Количество таких добавок и оптимальный срок настаивания определяются опытным путем, попробуйте сами. ■



Почему у ветровых турбин три узкие лопасти, а у моего потолочного вентилятора — пять широких?

Отвечает Дейл Берг (Dale E. Berg), сотрудник отдела по разработке технологий использования энергии ветра Национальной лаборатории Сандия

Число и форма лопастей ветровой турбины и потолочного вентилятора определяются назначением самих устройств. Ветровая турбина должна захватывать набегающий на нее с большой скоростью ветер и вырабатывать электроэнергию с максимально возможной эффективностью, а вентилятор — медленно разгонять воздух в помещении.

Для того чтобы энергия была недорогой, лопасти ветровой турбины должны вращаться как можно быстрее, но так чтобы шум генератора не превышал определенного порога. При низкой скорости увеличивается вращающий момент и приходится использовать более дорогие узлы трансмиссии. Все это требует применения лопастей, создающих подъемную силу, т.е. напоминающих по форме крыло самолета. При такой конструкции по одну сторону лопасти создается более высокое давление, чем по другую; такая разница давлений и заставляет ее вращаться. Исходя из конструктивных и экономических соображений, специалисты установили, что оптимальное число



лопастей — три: если их одна или две, то возникают проблемы динамического характера, а если более трех, то встает проблема крепления лопастей.

Назначение потолочного вентилятора — поддержание комфортных условий в помещении за счет осторожно-го бесшумного перемешивания воздушных масс. Его лопасти должны вращаться медленно (отчасти в целях безопасности), а цена — быть общедоступной. Коэффициент полезного действия — не самый важный параметр, поскольку даже работая 24 часа в сутки, потолочный вентилятор потребляет примерно 60 кВт·ч энергии

в месяц, что при средней цене за электричество соответствует \$6. По этим причинам большинство вентиляторов — не очень эффективные устройства с точки зрения захватывания воздуха. Лопатки, закрепленные под небольшим углом, просто направляют воздух перпендикулярно плоскости вращения — вперед, если вентилятор стоит на столе или полу, и вниз, если он подвешен к потолку. Широкие, плоские лопасти недороги и просты в изготовлении, создаваемой ими тяги достаточно для выполнения поставленной задачи. Чем больше лопастей, тем лучше, но до определенного предела. Чаще всего их четыре или пять, в таком случае соотношение эффективности и цены оптимально. ■

Что происходит с ДНК донорской крови при переливании?

Поясняет Мишель Гонг (Michelle N. Gong), доцент Медицинской школы Маунт-Синай

ДНК донора в перелитой крови остается в организме реципиента в течение нескольких суток, но ее присутствие вряд ли существенно влияет на результаты генетического тестирования.

Эритроциты не имеют ни ядра, ни ДНК. Зато в крови довольно много ДНК-содержащих лейкоцитов — примерно 1 млрд на 0,5 л крови. Даже компоненты крови, отфильтрованные для удаления лейкоцитов, могут содержать их в числе нескольких миллионов на 0,5 л.

Донорскую ДНК в следовых количествах обнаруживают в крови реципиента с помощью полимеразной цепной реакции (ПЦР), которая заключается в амплификации минимальных количеств генетического материала и последующей идентификации нужных генов. Приме-

нение данного метода для амплификации генов, принадлежавших донору-мужчине и попавших в организм женщины вместе с перелитой кровью, показало, что донорская ДНК сохраняется в течение семи суток. А наблюдение за женщинами, которым было перелито большое количество крови после полученной ими травмы, выявило присутствие донорских лейкоцитов через год после инцидента.

Все эти результаты, однако, были получены с использованием высокочувствительных методов избирательной амплификации донорской ДНК на фоне гораздо более многочисленной ДНК реципиента. В тех случаях, когда амплифицировались гены, одинаковые у обоих партнеров, полученные результаты свидетельствовали о существенном преобладании в крови реципиента его собственной ДНК. Таким образом, донорская ДНК не может служить долговечным заменителем ДНК реципиента. ■

ОЧЕВИДНОЕ

 НЕВЕРОЯТНОЕ

...О сколько нам открытий чудных
 Готовит просвещенья дух,
 И опыт, сын ошибок трудных,
 И гений, парадоксов друг,
 И случай, бог изобретатель...

А. Пушкин

ОЧЕВИДНОЕ-НЕВЕРОЯТНОЕ

НА КАНАЛЕ «РОССИЯ» ПО СУББОТАМ В 11:50 ПРОГРАММА С.П. КАПИЦЫ



Читайте в следующем выпуске журнала

СУЩЕСТВУЕТ ЛИ ТЕМНАЯ ЭНЕРГИЯ?

Наблюдения, на основании которых астрономы сделали вывод о существовании темной энергии, могут иметь другое объяснение: вполне возможно, что наша галактика находится среди космического вакуума

СПАСЕНИЕ ПЧЕЛ

Таинственное явление, получившее название синдрома коллапса колонии, резко сократило число пчел, опыляющих злаки. Причины этого нарушения жизнедеятельности пчел оказались комплексными, но решение проблемы уже начинает вырисовываться

РАЗВИТИЕ ЦВЕТНОГО ЗРЕНИЯ У ПРИМАТОВ

Анализ визуальных пигментов приматов показал, что наше видение цвета развивалось необычным путем, и что наш мозг приспосабливается гораздо легче, чем принято считать

НАНОТЕХНОЛОГИИ И РАК

Рассматривая человеческий организм как систему взаимосвязанных сетей и используя нанотехнологии для выявления возникающих в них повреждений, можно выработать совершенно новые подходы к лечению различных заболеваний

ПРЕДОТВРАТИТЬ ПАНДЕМИЮ

Международная сеть мониторинга передачи вирусов от животных человеку может помочь исследователям преграждать путь глобальным эпидемиям

В ВОЗОБНОВЛЕНИИ СИЛА

Борьба с глобальным изменением климата и обеспечение энергетической безопасности вынуждают разрабатывать альтернативы ископаемым видам топлива

КАК ОФОРМИТЬ ПОДПИСКУ/ЗАКАЗ НА ЖУРНАЛ «В МИРЕ НАУКИ» ЧЕРЕЗ РЕДАКЦИЮ

1. Указать в бланке заказа/подписки те номера журналов, которые вы хотите получить, а также ваш полный почтовый адрес. Подписка оформляется со следующего номера журнала.

2. Оплатить заказ/подписку в отделении любого банка (для удобства оплаты используйте квитанцию, опубликованную ниже). Оплату можно произвести также при помощи любой другой платежной системы по указанным в этой квитанции реквизитам.

3. Выслать заполненный бланк заказа/подписки вместе с копией квитанции об оплате:

- по адресу 105005, г. Москва, ул. Радио, д. 22, редакция журнала «В мире науки»;
- по электронной почте podpiska@sciam.ru, info@sciam.ru;
- по факсу: +7(495) 925-03-72, 727-35-30, 727-35-39

Стоимость подписки на второе полугодие 2009 г. составит:

Для физических лиц: **1110 руб. 00 коп.** — доставка заказной бандеролью*.

Для юридических лиц: **1470 руб. 00 коп.**

Стоимость одного номера журнала: за 2003–2004 гг. — **40 руб. 00 коп.**, за 2005–2006 гг. — **80 руб. 00 коп.**, за 2007 г. — **90 руб. 00 коп.**, за 2008 г. — **100 руб. 00 коп.**; за 2009 г. — **115 руб. 00 коп. (без учета доставки)**; стоимость почтовой доставки по России — **70 руб.**

Бланк подписки на журнал размещен на сайте www.sciam.ru; также направляем бланк по факсу или e-mail.

Уважаемые подписчики! После подтверждения платежа вы будете получать журнал ежемесячно с доставкой на отделение почтовой связи.

* Если ваша заявка о подписке получена до 10 числа месяца, то, начиная со следующего месяца, с почты вам начнут приходить уведомления о заказной бандероли. Такая система доставки журналов гарантирует 100%-ное получение. За доставку простой бандеролью редакция ответственности не несет.

БЛАНК ЗАКАЗА НОМЕРОВ ЖУРНАЛА

Я заказываю следующие номера журнала «В мире науки» (отметить галочкой):

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2009 г.												
2008 г.												
2007 г.												
2006 г.												
2005 г.												
2004 г.												
2003 г.												

* Выделенные черным цветом номера отсутствуют

Ф.И.О. _____

Индекс _____

Область _____

Город _____

Улица _____

Дом _____ Корп. _____ Кв. _____

Телефон _____

E-mail: _____

ЗАО «В мире науки»
 Расчетный счет 40702810100120000141
 в ОАО «ВТБ» г. Москва БИК 044525187
 Корреспондентский счет 30101810700000000187
 ИНН 7709536556; КПП 770901001

 Фамилия, И.О., адрес плательщика

Вид платежа	Дата	Сумма
Подписка на журнал «В мире науки» на _____ номеров		
Плательщик		

ЗАО «В мире науки»
 Расчетный счет 40702810100120000141
 в ОАО «ВТБ» г. Москва БИК 044525187
 Корреспондентский счет 30101810700000000187
 ИНН 7709536556; КПП 770901001

 Фамилия, И.О., адрес плательщика

Вид платежа	Дата	Сумма
Подписка на журнал «В мире науки» на _____ номеров		
Плательщик		

ПОМИМО ЭТОГО ОФОРМИТЬ ПОДПИСКУ НА ЖУРНАЛ «В МИРЕ НАУКИ» ВОЗМОЖНО:

■ в интернет-магазинах www.subscribe.ru, www.russische-presse.de.

■ в книжных магазинах научного центра «ФИЗМАТКНИГА», тел.: 409-93-28.

■ по каталогам: «Пресса России», подписной индекс 45724 – для физ. лиц; 39869 – для юр. лиц;

«Роспечать», подписной индекс 81736 – для физ. лиц; 19559 – для юр. лиц;

«Почта России», подписной индекс 16575 – для физ.лиц.; 11406 – для юр. лиц.

■ Подписка на Украине по каталогу подписных изданий агентства KSS, подписной индекс 69970.

■ Подписка для жителей Республики Беларусь для индивидуальных пользователей – индекс 81736, для предприятий и организаций – индекс 19559.



КАЧЕСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАНИЕ - ПУТЬ К УСПЕШНОЙ КАРЬЕРЕ



Факультеты:

аспирантура	юридический
программа MBA	экономики, управления и финансов
колледж РосНОУ	бизнес-технологий в туризме
колледж СНГ	гуманитарных технологий и иностранных языков
государственный диплом	психологии и педагогики
трудоустройство выпускников	информационных систем и компьютерных технологий
	отраслевых специализаций
	второго высшего образования

Отсрочка от призыва на военную службу для лиц, обучающихся по очной форме обучения

Адрес приемной комиссии:

ул. Радио, д. 22. Тел.: (495) 727-35-35

Проезд: от метро «Бауманская» — трамваи №37, 45, 50,

от метро «Курская» и «Чкаловская» — трамвай №24,

от метро «Авиамоторная» — трамвай №24, 37, 50

до остановки «Лефортовская набережная, РосНОУ»

Сайт в Интернете: www.rosnou.ru

Российский новый университет —
учредитель журнала «В МИРЕ НАУКИ»

SIPNET

формула новой связи

1) Почему SIPNET?

Потому что SIPNET — это бесплатное общение в любой точке мира, где есть Интернет...

2) Для кого?

Для всех пользователей, имеющих доступ в Интернет...

3) Как подключиться?

Зарегистрируйтесь на www.sipnet.ru и получите персональный сетевой номер...

Присоединяйтесь к SIPNET!

SIPNET - это сеть интернет-телефонии нового поколения, в которой реализованы последние достижения в области инфокоммуникаций, обеспечивающие эффективный обмен голосовой и мультимедийной информацией. SIPNET предоставляет пользователям широкий спектр персонализированных услуг с возможностью управления ими.

Все пользователи SIPNET получают возможность настраивать стоимость и качество соединений по любому направлению, заказывать от своего имени и за свой счет связь для двух абонентов в любых точках мира, переадресовывать входящие звонки с SIP ID на любое абонентское устройство, анализировать статистику совершенных соединений и управлять всеми сервисами SIPNET в режиме on-line.

Среди главных преимуществ SIPNET - альтернативная нумерация. Каждый пользователь становится владельцем персонального сетевого номера - SIP ID, являющегося единым идентификатором пользователя в любой точке мира. SIP ID также является e-mail адресом абонента, с функцией голосовой почты.

Вы можете построить собственную виртуальную сеть общения, все разговоры внутри которой будут бесплатными.

Копенгаген \$ 0.024

Нью-Йорк \$ 0.021

Берлин \$ 0.022

Киев \$ 0.083

Владивосток \$ 0.029

Пекин \$ 0.022

С.-Петербург \$ 0.029

Москва \$ 0.020

Внутри сети \$ 0.0

www.sipnet.ru

Россия, г. Москва, 117997,
ул. Профсоюзная, д. 84/32, ИКИ РАН