ежемесячный научно-информационный журнал

В мире науки

scientific american

тема номера

№2 2004

теория струн



Зачем
нужен сон?

Космический
буксир

Полет
на гибких крыльях

Первооткрыватели
Евразии

Армия
маленьких роботов

ISSN 0208-0621

содержание

ФЕВРАЛЬ 2004

ГЛАВНЫЕ ТЕМЫ НОМЕРА

БИОТЕХНОЛОГИИ

20 **«ТЕНЕВАЯ» ЧАСТЬ ГЕНОМА: СОКРОВИЩА НА СВАЛКЕ**

Уэйт Гиббс

Скрытые слои информации в хромосомах полностью переворачивают традиционное представление о наследственности и болезнях

КОСМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

28 **КОСМИЧЕСКИЙ БУКСИР**

Рассел Швейкарт, Эдвард Лю, Пайет Хат, Кларк Чапман

Космический буксир с плазменными двигателями может предотвратить столкновение астероида с Землей

РОБОТОТЕХНИКА

36 **АРМИЯ МИНИ-РОБОТОВ**

Роберт Грабовски, Луис Наваро-Сермент, Прадип Хосла

Миниатюрные механизмы, действующие сообща, способны обследовать труднодоступные объекты

ФИЗИКА

42 **БУДУЩЕЕ ТЕОРИИ СТРУН**

Джордж Массер

Беседа с Брайаном Грини

ПАЛЕОАНТРОПОЛОГИЯ

48 **ПЕРВООТКРЫВАТЕЛИ ЕВРАЗИИ**

Кейт Вонг

Ископаемые находки в Грузии опровергают устоявшееся представление о том, как происходила миграция первых гоминид из Африки

АВИАЦИЯ

58 **ГИБКИЕ КРЫЛЬЯ**

Стивен Эшли

Самолет будущего будет летать как птица, изменяя геометрию крыла в зависимости от условий среды

НЕЙРОБИОЛОГИЯ

64 **ЗАЧЕМ НУЖЕН СОН?**

Джером Сигел

Загадочный феномен сна приоткрывает ученым свои тайны

БИОЛОГИЯ

70 **ВЕЛИКИЙ СИМБИОЗ: ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЭУКАРИОТНОЙ КЛЕТКИ**

Владимир Малахов

Когда и как возникли микроорганизмы, занимающие господствующее положение в современной биосфере?



РАЗДЕЛЫ

ПРОФИЛЬ
18 ОТДЫХАТЬ МЫ НЕ УМЕЛИ
Сергей Федоров
Нобелевский лауреат В.Л. Гинзбург

ОБЗОРЫ

ОТ РЕДАКЦИИ
3 ГЛУПОСТЬ ПЛАНЕТАРНОГО МАСШТАБА

4 50, 100 И 150 ЛЕТ ТОМУ НАЗАД

6 НОВОСТИ И КОММЕНТАРИИ
- Неуловимые вирусы
- Новое о природе света
- Стабилизация энергосетей
- Водородный суперочиститель
- Космический парусник
- Откуда пришли первые американцы
- Вручение премий Европейской академии

80 КНИЖНОЕ ОБОЗРЕНИЕ

ОЧЕВИДНОЕ-НЕВЕРОЯТНОЕ
82 СЛАДКОГОЛОСЫЕ ПТИЦЫ ПСЕВДОНАУКИ
Почему люди предпочитают верить невероятному, игнорируя очевидные факты

ЗНАНИЕ – СИЛА
88 ГВОЗДИ И СКОБКИ
Марк Фишетти

ТЕХНИЧЕСКИЕ НЮАНСЫ
90 УГАДАЙ МЕЛОДИЮ
Фиона Харвей

ПУТЕШЕСТВИЕ
92 В ОЖИДАНИИ СТАРТА
Уэйт Гиббс
Запуск ракеты – зрелище не для слабонервных

ГОЛОВОЛОМКА
94 ПОПРОБУЙ НАПАДИ!

СПРОСИТЕ ЭКСПЕРТОВ
95 *Отчего бывает бессонница?*
Люди – это единственные представители приматов, которые плачут?

глупость планетарного масштаба

Где-то в Солнечной системе есть каменная глыба под названием *Scientific American*. Кроме шуток. В прошлом году Международный астрономический союз присвоил недавно обнаруженному астероиду имя *14145 SciAm*. К счастью для имиджа журнала, траектория его космического тезки не пересекает орбиту Земли. Ведь сегодня большинство людей признает, что камни-убийцы несут угрозу жизни на нашей планете. Сомневающиеся могут поинтересоваться мнением динозавров.

Достаточно ли усилий предпринимает мировое сообщество, чтобы справиться с опасностью? В этом номере журнала ученые и астронавты выступают за создание реактивного аппарата, который мог выталкивать астероиды из опасной зоны (см. статью «Космический буксир»). Оправдается ли рассчитанный на десятилетия проект стоимостью $1 млрд.?

Нужно ли тратить хотя бы пенни на туманные угрозы, когда мы сталкиваемся со множеством непосредственных? Не хотелось бы, но придется: мир не может позволить себе роскошь заниматься проблемами по очереди. Необходимо справляться сразу со всеми трудностями, распределяя ресурсы на их преодоление. На решение одних задач требуется больше усилий, на решение других – меньше, но и те, и другие не могут быть оставлены без внимания.

Давайте посчитаем. Вероятность столкновения Земли с астероидом не меньше километра в диаметре, который может вызвать глобальную катастрофу и гибель миллиардов людей, оценивается как один к 600 000. Среднее число жертв, таким образом, составит несколько тысяч человек в год, что превышает потери от авиационных катастроф или международного терроризма. Если оценивать каждую жизнь в $1 млн. (обычная сумма, выплачиваемая страховыми компаниями), пара-тройка миллиардов долларов, ежегодно выделяемых на создание «антиастероида», окупятся очень быстро. Разумеется, это лишь приблизительный расчет, но он наглядно показывает, что вкладывая по $10 млн. в «противометеоритную оборону», мы тратим свои деньги весьма разумно.

Даже поиск мелких небесных тел экономически обоснован, хотя найти их сложнее, а разрушения, причиняемые ими, меньше. Согласно результатам последних исследований, каждый год вероятность падения небольшого метеорита на Землю составляет 1 к 5000. С учетом того, что болид может упасть на город или вызвать цунами, речь идет в среднем о паре сотен миллионов долларов ущерба в год. Поиск обошелся бы в десять раз дешевле.

Пока проект находится в стадии разработки, и определить его экономическую эффективность сложно. Нужно ли направить усилия на развитие противометеоритной технологии, разработку планов эвакуации и т.п. или стоит дождаться, когда астероид устремится к Земле? Чтобы ответить на этот вопрос, нам необходимо провести специальные исследования высокого уровня с привлечением не только астрономов и геологов, но и специалистов по чрезвычайным ситуациям и экономистов.

К сожалению, люди зачастую непоследовательны в оценке рисков. Но даже по самым оптимистическим оценкам, мы совершенно не готовы к астероидной атаке, угрожающей всему человечеству и все же фантастически маловероятной. Тот факт, что эту опасность сложно осознать, делает ее трезвый, всесторонний и авторитетный анализ тем более срочным. ■



Астероид 433 Эрос, замеченный зондом *NEAR Shoemaker*.

NASA

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ НЕОБХОДИМОСТЬ

Карина Тиванова

Сегодня нашу жизнь невозможно представить без авиации и космонавтики. Ее история отсчитывается с начала прошлого века от полета братьев Райт и публикации статьи К.Э. Циолковского «Исследование мировых пространств реактивными приборами». За сто лет человечество достигло многого в покорении космоса. Большая заслуга в этом принадлежит российским и советским ученым. В наше непростое время славные традиции отечественной космонавтики и авиации не забыты и эта отрасль промышленности сохранила способность к дальнейшему развитию. Перспективы и тенденции создания новых, экономически выгодных технологий обсуждались на международной выставке и конференции «Авиация и космонавтика-2003», которая прошла в ноябре в Московском авиационном институте и была посвящена столетию авиации и 35-летию аэрокосмического факультета МАИ. Открывая выставку, председатель оргкомитета ректор МАИ академик РАН А.М. Матвеенко отметил, что сегодня очень важно создавать современную технику и готовить высококвалифицированных специалистов. В сочетании с богатейшим опытом это поможет вывести нашу страну на более высокий уровень в области мировых достижений.



Катапультные кресла новейшей конструкции.

За четыре дня выставку осмотрели около восьми тысяч человек. Посетители с интересом знакомились со стендами: ОАО «Туполев», РКС «МиГ», «Гипронииавиапром», «Тактическое ракетное вооружение», «Аэросила», НПП АП им. академика Пилюгина, Корпорация «Тактическое ракетное вооружение», ПКП «Респиратор», «Ижевский радиозавод», ООО «Росавиаперевод», ООО «Креатив-груп». А лидером посещаемости стал стенд НПП «Звезда» г. Томилино, где демонстрировались катапультные кресла для различных типов самолетов.

Организаторы с большим удовлетворением отмечают, что среди посетителей было много учащихся и студентов. Популяризация авиации и космонавтики среди молодежи, а также привлечение молодых специалистов в авиационную и ракетно-космическую отрасль – одна из главных целей проведения выставки. Можно с уверенностью сказать, что с этой точки зрения выставка удалась – у стендов ведущих предприятий велась активная работа со студентами, и не только российскими.

Проведение этого мероприятия, несомненно, содействовало развитию экономического сотрудничества авиационно-космических предприятий и демонстрации научно-технического и производственно-технологического потенциала российской авиационно-космической отрасли. ■

ОКЕАНОЛОГИЯ – НАУКА ПРАКТИКОВ

Нина Шилина

В конце 2003 г. на VIII международную конференцию «Современные методы и средства океанологических исследований», проходившую в институте им. Ширшова, собрались океанологи из Москвы, Санкт-Петербурга, Владивостока, Калининграда, Геленджика, Архангельска, Украины, а также представители «Газпрома», МЧС, Аварийной службы военно-морского флота. Интерес этих структур к подобного рода мероприятиям связан с необходимостью проведения исследований на шельфах для разведки месторождений нефти, газа, других полезных ископаемых и их последующей добычи. Прокладка газопровода под водой тоже немыслима без океанологов: чтобы предложить оптимальный маршрут, нужно предварительно изучить дно, сейсмичность района, а в дальнейшем за газопроводом необходим экологический контроль.

Почти все доклады были посвящены развитию подводных технологий и техники, проведению спасательных работ под водой и подо льдом, новым методам изучения придонных областей океана. Речь шла и об оперативном мониторинге, который позволит давать прогноз погоды, штормовое предупреждение, определять вероятность распространения загрязнения, а также поможет решить задачи морской навигации, военной гидрографии, выявить места скопления рыбы.

Повышенный интерес вызвал доклад академика А.П. Лисицына «Четырехмерная системная океанология – возможности и приборные исследования». Суть его в том, что изучение основных параметров, характеризующих природу океана, обычно проводится в трех координатах: широте, долготе и глубине. И лишь в отдельных случаях – во времени. С этой четвертой координатой связаны основные трудности. Требовалось найти естественные источники информации, своеобразные «часы», которые помогали бы анализировать процессы, происходящие в океане. Ими стали «твердые носители» – взвешенное в водной толще осадочное вещество (взвесь), донные осадки, частицы тончайшей пыли.

Временные изменения бывают разными: короткопериодными, среднепериодными, долгопериодными. Природные условия в океане циклически меняются не только в зависимости от времени года, но и с течением лет и столетий. Как выяснилось, океан оказывает огромное влияние на климат суши. Изучение информации, которую хранит такой «твердый носитель», позволит установить причины потепления или похолодания (как в настоящем, так и в далеком прошлом) и дать прогноз на будущее. Осуществить это можно, в частности, с помощью глубоководного бурения. Ученым удалось пробурить всю осадочную полосу океана и получить в свое распоряжение «архив» толщи илов и песков, свидетельствующий об изменениях, происходивших на нашей планете в течение 160 млн. лет. Естественные «часы» океана помогут установить время климатических изменений и тенденции их развития.

Для практических исследований необходимы не только теоретические разработки, но и новейшее оборудование. Направленные исследования, новые приборы – это начало новой морской науки XXI в. ■

Будущее российской астрофизики

Карина Тиванова

По традиции, с 2001 г. российские астрофизики встречаются в дни католических рождественских каникул. И декабрь 2003 г. не стал исключением – состоялась третья конференция «Астрофизика высоких энергий сегодня и завтра». Как и в предыдущие годы, встреча ученых была интересной и насыщенной. За три дня работы участники прослушали и обсудили больше 60 выступлений, впервые достаточно широко были представлены и стендовые доклады.

Наибольший интерес вызвали научные изыскания по релятивистской астрофизике, внегалактической астрономии и космологии, в частности, работы, посвященные исследованиям горячего газа в скоплениях галактик, искажениям реликтового излучения, анализу крупномасштабной космической структуры. Но особое внимание было уделено физике нейтронных звезд и черных дыр, ядер активных галактик и квазаров, взаимодействию космических лучей с межзвездной и межгалактической средой.

Особое внимание было уделено обсуждению работы Международной астрофизической лаборатории гамма-лучей «Интеграл» – ключевому проекту рубежа XX и XXI вв. в области гамма-астрономии и астрофизики высоких энергий. Задача первой ядерной обсерватории – сбор данных о наиболее жестком излучении во Вселенной. Кроме того, «Интеграл» способен детально исследовать астрофизические процессы, протекающие в зонах чрезвычайной активности, где, возможно, скрываются черные дыры. Полученные результаты позволят астрономам сделать шаг вперед в изучении высокоэнергетических процессов, происходящих в необъятном космическом пространстве.

По общему мнению, атмосфера конференции способствовала рабочему настроению, доклады, многие из которых были подготовлены молодыми учеными, обсуждались с искренним интересом. Все это позволяет сделать вывод: у российской астрофизики есть не только настоящее, но и перспективное будущее. ■

СОБЫТИЯ В ФЕВРАЛЕ

6–8.02.2004 г.
Конференция «Актуальные проблемы медицины и биологии»
Сибирский государственный медицинский университет (Томск)

17–19.02.2004 г.
Международная конференция «Математическое образование: современное состояние и перспективы» **(Могилев, Беларусь)**

18–19.02.2004 г.
19-я Всероссийская конференция «Реформы в России и проблемы управления»
Государственный университет управления

26–27.02.2004 г.
Международная конференция «Культура речи в условиях двуязычия: состояние, перспективы, инновационные технологии»
(Минск, Беларусь)

27.02.2004 г.
Международная конференция «Геополитическая доктрина России: реалии и проблемы выбора»
Балтийский государственный технический университет «Военмех» (Санкт-Петербург)

X премия Европейской академии

Алла Рогова

В декабре были объявлены победители юбилейного X конкурса молодых российских ученых на соискание премий Европейской академии. По традиции, торжественное награждение 23 лауреатов состоялось в Круглом актовом зале на 31-м этаже главного здания МГУ. Победителям были вручены памятные медали, дипломы и денежные премии.

Европейская академия была создана в 1988 г. в рамках концепции «Общеевропейского дома» и объединенной Европы. В настоящее время в нее входят 68 российских ученых. В 1992 г. по инициативе декана факультета биоинженерии и биоинформатики МГУ, члена президиума Европейской академии, академика РАН В.П. Скулачева был создан клуб ее российских членов.

Клуб решил воссоздать традицию премии Ленинского комсомола, которая была упразднена вместе с комсомольской организацией. Вот уже 10 лет российские ученые, члены клуба, собираются для того, чтобы вручить премию молодым ученым.



Премии присуждаются за фундаментальные научные исследования (точные, естественные и гуманитарные науки), выполненные в России и опубликованные в виде статей в ведущих научных журналах или книгах. На десятый конкурс были представлены 60 работ, их оценивало жюри, в состав которого вошли: В.П. Скулачев (председатель), В.Б. Брагинский, Ю.З. Гендон, Г.П. Георгиев, Р.М. Капланов, И.И. Моисеев, А.М. Никишин, М.О. Чудакова, А.Н. Ширяев.

По результатам конкурса были присуждены 23 премии в семи областях знаний: математика/механика, физика, химия, науки о Земле, биология, медицина, гуманитарные науки. Список победителей и правила конкурса помещены на сайте **www.genebee.msu.ru**. ■

«палочка-выручалочка» человечества

Сергей Оганесян

Вопреки многочисленным предсказаниям конца света, цивилизация продолжает развиваться и население земного шара увеличивается с каждым часом. Мы занимаем все больше пространства, нам требуется все больше энергии и все больше пищи. Решить проблемы нехватки продовольствия, истощения природных запасов, загрязнения окружающей среды, диагностики и лечения опасных заболеваний помогут новейшие достижения биотехнологии.

В ноябре прошлого года на Втором Московском международном конгрессе «Биотехнология: состояние и перспективы развития» и международной специализированной выставке «Мир биотехнологии–2003», которую проводили Российская Академия наук, Министерство промышленности, науки и технологий Российской Федерации и правительство Москвы, ученые из 21 страны мира обсуждали вопросы взаимодействия медицины, сельского хозяйства, промышленности и биотехнологии.

Конечно, у биотехнологии есть не только сторонники. Поэтому особого внимания требуют вопросы биоэтики и биобезопасности. Об этом говорил в своем докладе В.А. Тутельян – академик РАМН, директор НИИ питания РАМН. По его мнению, в нашей стране люди не имеют достоверной информации о биотехнологиях. Недостаточно подготовить общественное мнение к появлению генетически модифицированных продуктов на нашем столе, необходимо доказать безопасность употребления такой пищи. Директор Центра «Биоинженерия» академик РАСХН К.Г. Скрябин в своем выступлении показал, какую опасность несет пренебрежение достижениями биотехнологий.

Обсуждение проблемы не закончено. Ученые продолжат его на следующей встрече, которая, возможно, состоится уже в этом году. ■

УВИДЕТЬ СУТЬ ВЕЩЕЙ

Аркадий Мальцев

Если XX век был эпохой революционных открытий практически во всех областях науки и техники, то XXI обещает стать веком нанотехнологий. Еще в 1959 г. американский физик Ричард Фейнман предположил, что со временем многие материалы и приборы будут создаваться на молекулярном или даже атомарном уровне, что сулит фантастические перспективы. Но чтобы манипулировать столь малыми объектами, необходима измерительная и рабочая аппаратура нового поколения.

Реализовать замысел помог открытый в начале XX века туннельный эффект, возникающий между двумя проводящими веществами, расположенными на таком расстоянии, чтобы волновые функции электронов перекрывались. В результате выяснилось, что с помощью очень тонкой иглы можно получать информацию о строении материи на атомном уровне.

В 1966 г. американский ученый Рассел Янг сконструировал прибор, работающий по этому принципу, однако открытие не было востребовано. Второе свое рождение оно получило в 1981 г., когда специалисты Цюрихского объединения *IBM* Г. Бининг и Г. Рорер разработали прибор, действующий по аналогичному принципу, и назвали сканирующим туннельным микроскопом. Устройство позволяло наблюдать каждый атом в отдельности, причем в заданных точках. Рабочим органом прибора – зондом – служила токопроводящая металлическая игла. Зонд подводился к изучаемой поверхности очень близко – на десятые доли ангстрема, при подаче постоянного напряжения между ними возникал электрический ток. После компьютерной обработки информации о перемещении зонда можно было «увидеть» рельеф поверхности объекта с необходимым разрешением. Однако этот прибор имел ряд ограничений.

В 1986 г. в той же лаборатории были созданы зондовые микроскопы второго поколения – атомно-силовые. В них сканирующее устройство было устроено подобно патефону: острая иголочка (зонд) прикреплялась к одному концу плоской упругой пластинки из тонкой платиновой фольги – кантилевера, а другой ее конец крепили в держателе. В ходе сканирования игла, повторяя рельеф изучаемой поверхности, заставляла кантилевер колебаться и поворачиваться вокруг продольной оси.

В 1993 г. появились приборы, использующие резонансный метод, при котором измерения проводят вибрирующим кантилевером, колебания которого возбуждает внешний пьезогенератор. При его приближении к объекту характер колебаний становится иным, причем изменение амплитуды в основном зависит от рельефа поверхности, а фаза чувствительна к ее физическим свойствам.

Иглы различной модификации позволяют сканирующим зондовым микроскопам выявлять свойства исследуемых материалов. Например, если зонды имеют токопроводящую поверхность, можно измерить относительное распределение поверхностного сопротивления и емкости, а также электрические характеристики приповерхностных структур. Проводящими электрический ток зондами с диэлектрическим покрытием устанавливают распределение приповерхностных магнитных полей и емкости и т.д.

Зондовые микроскопы способны также модифицировать различные поверхности и менять их структуру, скажем, методом литографии с нанометровой точностью. О ювелирной тонкости подобного метода говорит такой пример: «нарисованные» таким образом портреты всех россиян с их биографиями уместились бы на пластине размером 3×3 см.

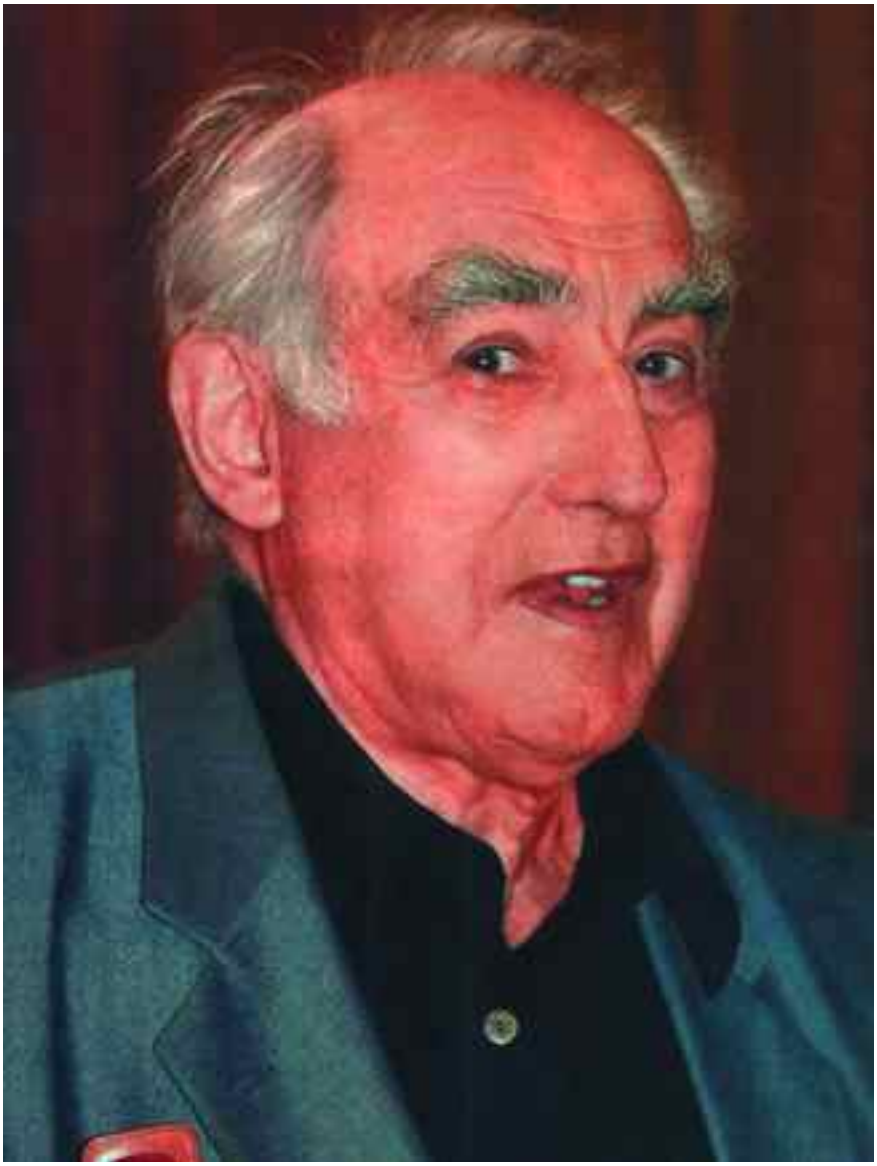
Сегодня различные СЗМ выпускает ряд иностранных фирм, таких как *Digital Instruments*, *Molecular Imaging* (США) и т.д. Огромный вклад в развитие нанотехнологии внесла и отечественная наука. Так, в 1993 г. в Зеленограде была создана компания ЗАО «Нанотехнология-МТД», которая изначально стала выпускать высококачественные сканирующие зондовые микроскопы самых различных модификаций и назначений и комплектующие к ним. На базе основных серий – «СМЕНА» и «СОЛВЕР» – можно «набрать» около 20 вариантов «машин», позволяющих определять до 43 характеристик изучаемого объекта. Это единственная российская фирма, вышедшая на мировой рынок и занявшая там передовые позиции.

Помимо усовершенствования приборов и их возможностей компания занимается подготовкой нового поколения ученых, которые будут работать в области нанотехнологии. В 2003 г. в Государственном университете им. Н.И. Лобачевского (Нижний Новгород) открылась первая в мире учебно-научная лаборатория сканирующей зондовой микроскопии *NanoEducator*. Она включает пять базовых сканирующих учебных микроскопов (эти приборы – так же «детище» ЗАО «НТ-МДТ»), учебное пособие по основам СЗМ, спектроскопии и нанолитографии, лабораторный практикум с набором учебных образцов.

Кроме технического усовершенствования и создания новых приборов, это единственная в мире фирма, которая разрабатывает новую концепцию развития самих нанотехнологий, планируя создать глобальную нанотехнологическую систему, объединяющую базы данных и методы исследования и разработки новых материалов. Такие возможности позволят ученым приблизиться к пониманию единства живой и неживой материи. Именно в этом – единственный путь развития нанотехнологии, которая станет ведущей наукой в XXI веке. ■

ОТДЫХАТЬ МЫ НЕ УМЕЛИ

Сергей Федоров



Гинзбург Виталий Лазаревич родился в 1916 г. в Москве. Окончил физический факультет МГУ в 1938 г., в 1940 г. защитил кандидатскую и в 1942 г. докторскую диссертации. С 1940 г. до настоящего времени работает в Физическом институте им. П.Н.Лебедева РАН. В 1953 г. избран членом-корреспондентом и в 1966 г. действительным членом (академиком) АН СССР. С 1989 г. по 1991 г. был народным депутатом СССР от АН СССР. Награжден орденом Ленина, другими орденами и медалями СССР, лауреат Государственной, Ленинской и др. премий. Избран членом девяти Академий наук (или эквивалентных им обществ), в том числе Американской Национальной академии наук и Лондонского королевского общества.

Самый долгий путь начинается с первого шага, в том числе и путь научных изысканий Нобелевского лауреата. В 1933 г. Виталий Лазаревич Гинзбург решил поступать на физический факультет МГУ. До этого он окончил 7 классов единой трудовой школы, работал лаборантом и самостоятельно освоил программу старших классов. Не пройдя по конкурсу на дневное отделение физфака, Гинзбург стал студентом заочного и только через год, в 1934 г., начал учиться как все, по его собственному ироничному замечанию. Он мечтал стать физиком-теоретиком, но, считая себя недостаточно подготовленным, пришел на кафедру, которой заведовал Г.С. Ландсберг. Там он начал работать над своей первой научной темой – исследование спектров каналовых лучей. Окончив университет в 1938 г., он поступил в аспирантуру на кафедру теоретической физики, которой руководил И.Е. Тамм.

Защитив в 1940 г. диссертацию, Гинзбург оставил МГУ и стал докторантом теоретического отдела Физического института Академии наук (ФИАНа) и вплоть до середины 1941 г. занимался классической и квантовой электродинамикой, а также теорией частиц с высшими спиновыми состояниями. Он тогда и не предполагал, что в стенах этого института пройдет практически вся его научная жизнь.

Во время Великой Отечественной Гинзбург вместе с институтом отправился в эвакуацию в Казань, где в мае 1942 г. защитил докторскую диссертацию. Именно тогда он заинтересовался теорией сверхпроводимости. «Когда я начал заниматься этим вопросом, данное явление было известно уже не одно десятилетие, но тем не менее сверхпроводимость на микроскопическом уровне еще не была понята и оставалась

«...Для меня самого остается загадкой, почему в холодное и голодное военное время меня привлекли тайны физики низких температур».

белым пятном не только в теории металлов, но, пожалуй, и во всей физике конденсированных сред. В мире шла страшная война, и для меня самого остается загадкой, почему в это тяжкое, холодное и голодное время меня привлекли тайны физики низких температур. Однако по молодости лет я еще не умел сосредоточиться на чем-то одном, занимался одновременно несколькими вопросами. Кроме того, в военные и послевоенные годы ученые испытывали значительные трудности с обменом научной информацией, что изрядно мешало быстрому продвижению исследований», – рассказывает ученый.

Лишь в 1950 г. была создана теория сверхпроводимости, при этом Гинзбург доказал, что необходимо учитывать квантовые эффекты. Предложенное им понимание данного явления получило название «пси-теория сверхпроводимости». Именно за эти исследования спустя 40 лет ученый и был удостоен Нобелевской премии 2003 г.

С 1947 г. Гинзбург вместе с группой физиков-теоретиков начал работать над эпохальным атомным проектом, которым руководил И.В. Курчатов. Однако на знаменитый «объект» он так и не был допущен, остался работать в Москве, поскольку казался властям неблагонадежным. Причиной стали чисто семейные обстоятельства. Много лет спустя ученый вспоминал: «Считаю, что мне очень повезло. С одной стороны, я все же занимался сверхсекретной работой и поэтому был защищен от преследований, хотя меня в то время обвиняли в космополитизме, не утвердили в звании профессора, вывели из ученого совета ФИАНа и т.п. С другой стороны, я имел возможность работать над термоядом и совершенно несекретными вопросами, такими как теория сверхпроводимости и т.д.». За участие в «закрытых» работах Гинзбург в 1953 г. получил орден Ленина и Сталинскую премию, стал членом-корреспондентом АН СССР.

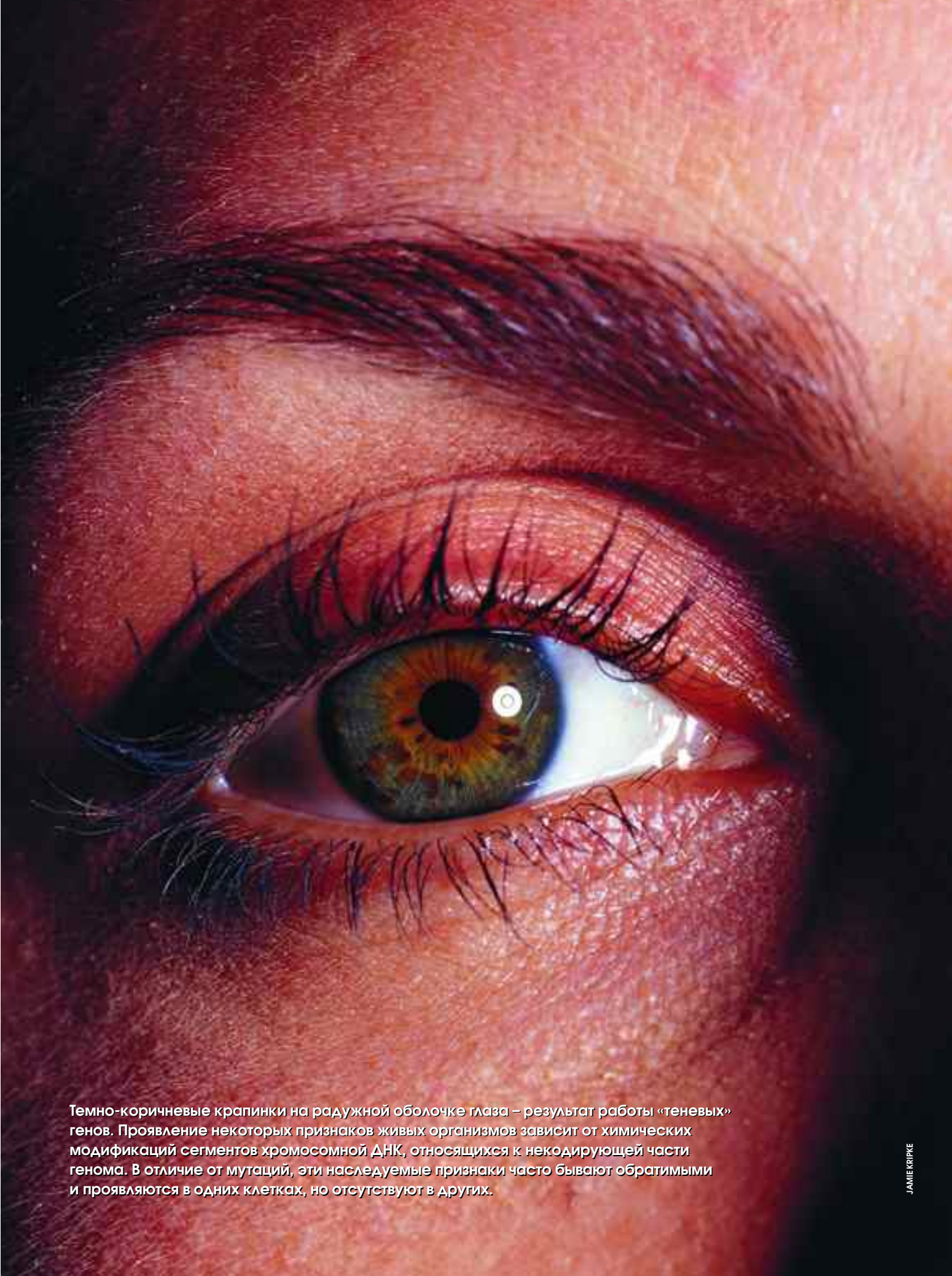
Надо сказать, что исследователь никогда не замыкался в рамках одного научного направления. С середины 1941 г. Гинзбург увлекся проблемой распространения радиоволн и ныне остается признанным авторитетом в этой области. Сам он считает, что работа велась «спорадически и хаотически», но тем не менее выделяет три главных и наиболее интересных ее направления: ионосферные и внеионосферные мерцания источников, теория спорадического радиоизлучения Солнца и теория синхротронного космического излучения. Работы Гинзбурга в этих областях помогли раскрыть тайну происхождения космических лучей и разобраться в природе таких объектов, как квазары.

Академик Гинзбург не только всемирно известный ученый и общественный деятель, но и блестящий публицист, высказывающий свое мнение по самым актуальным проблемам современности. Он регулярно выступает в периодических изданиях со статьями аналитического характера. В сети Интернет феноменально популярна его статья «Разум и вера», где он отстаивает атеистический взгляд на мир. В апреле 2002 г. он выступил на презентации книги знаменитого скульптора В.А. Сидура, о котором в свое время написал интересные воспоминания.

Важной задачей для ученого стала борьба с лженаукой. Он считает, что следует занять четкую и однозначную позицию по отношению к любым антинаучным концепциям и откровенной подтасовке фактов. Не менее резко он отзывается о диалоге науки и религии. По его мнению, насильственно культивируемый интерес к православию не имеет ничего общего с задачей духовного развития нации и стал, во-первых, реакцией на жесткий запрет на религию в советские времена, а во-вторых, следствием низкого уровня образованности населения. К сожалению, с подлинной образованностью дела в России, да и во многих других странах обстоят не блестяще. Наконец, третья и, вероятно, основная причина – государственная политика в отношении религии. Ученый глубоко убежден, что попытки заменить потерпевшую полный крах коммунистическую идеологию православием обречены на провал. Светлое будущее ожидает человечество только на пути просвещенного светского (секулярного) гуманизма.

Взгляд исследователя устремлен не в прошлое, а в будущее, ему интересно развитие биологии, в частности генетики, возможность усовершенствовать человеческий организм. Гинзбург мечтает о том времени, когда человек станет жить дольше и работать плодотворнее. Но пока он только намечает направления будущих исследований, о чем и говорил в своей Нобелевской лекции. Получив премию за работы, выполненные более 40 лет назад, он считает, что сейчас необходимо ставить задачи, которые будут решать следующие поколения исследователей.

Недавно Гинзбург опубликовал статью, в которой перечислил тридцать актуальных и перспективных вопросов, заслуживающих внимания научной общественности. Подобная творческая активность не случайна: несмотря на свой возраст, ученый сохранил юношеский задор, а секрет своей работоспособности объясняет иронически: «Наука была единственной радостью нашей жизни. Отдыхать мы не умели и до сих пор не научились...» ■



Темно-коричневые крапинки на радужной оболочке глаза – результат работы «теневых» генов. Проявление некоторых признаков живых организмов зависит от химических модификаций сегментов хромосомной ДНК, относящихся к некодирующей части генома. В отличие от мутаций, эти наследуемые признаки часто бывают обратимыми и проявляются в одних клетках, но отсутствуют в других.

JAMIE KRIPKE

«Теневая» часть генома: сокровища на свалке

Уэйт Гиббс

Когда ученые посчитали, что знают о ДНК почти все, они обнаружили у хромосом еще два глубоко запрятанных информационных слоя, влияющих на развитие организма, наследственность и возникновение различных болезней.

20 лет назад астрономы установили, что характер движения отдаленных галактик несовместим с законами тяготения, если считать, что вся масса Вселенной сосредоточена в видимых небесных телах. Поскольку законы тяготения представлялись ученым незыблемыми, приходилось признать, что Вселенная далеко не пустынна, а заполнена невидимым «темным веществом». Что это за вещество и какова его природа – неизвестно. Поиски ответа на этот вопрос стимулируют развитие астрофизики и космологии, а также могут привести к пересмотру основополагающих космологических теорий.

Аналогичная ситуация складывается и в другой области науки – молекулярной генетике. В прошлом году отмечался 50-летний юбилей двойной спирали ДНК, а несколько раньше был завершен важнейший этап проекта «Геном человека» – определение нуклеотидной последовательности всей ДНК *Homo sapiens*. Сегодня молекулярные биологи свободно манипулируют ДНК в своих экспериментах. Но чем дальше продвигается сравнительный анализ генома разных организмов и чем больше ученые узнают о поведении хромосом в живых клетках, тем яснее становится, что множество фактов не укладывается в рамки существующих теорий.

В научных кругах без конца говорят о новых данных, противоречащих фундаментальным положениям молекулярной биологии, согласно которым гены (сегменты ДНК, кодирующие белки) – единственные элементы наследственности, предопределяющие признаки живых организмов. Приходится признать, что аналогично «темной материи», влияющей на поведение галактик, существует «темная часть генома», контролирующая развитие всех живых существ от бактерий до человека. В пьесе под названием «Геном» играют не только белок-кодирующие гены, но и другие актеры, о которых мы пока мало что знаем.

Размеры «теневой» части генома неизвестны. Можно лишь сказать, что помимо информации, заключенной в генах в их традиционном понимании, в каждой клетке существуют еще два информационных слоя. Один из них представлен многочисленными некодирующими последовательностями ДНК, которые разделяют гены или вклиниваются в них. До последнего времени они считались несущественными (о них говорили как о «генетическом хламе»), поскольку не кодировали никаких белков. Но вот что странно: многие из них на протяжении миллионов лет эволюции не претерпели никаких изменений, следовательно, они зачем-то нужны организму. Обнаружилось, что значительная часть последовательностей транскрибируется в РНК, спектр функций которых гораздо шире, чем предполагали биологи. По мнению некоторых ученых, в основе различий между разными особями одного вида и между самими видами лежат помимо всего прочего вариации в том наборе последовательностей, которые входят в «теневую» часть генома. Образно говоря, у каждого из нас среди геномного «хлама» спрятаны свои «драгоценности», и именно они вместе с видимой частью генома определяют нашу уникальность.

Второй, еще более хитро устроенный информационный слой имеет совсем другую природу. Его образуют эпигенетические «отметины», вкрапленные в «ткань» из белков и химических соединений, которые окружают ДНК в составе хромосом, связываются с ней и стабилизируют ее структуру. Здесь действуют свои тайные коды и механизмы. В отличие от генов, эпигенетические «тексты» подчищаются и исправляются по ходу дела. Так, если

мутация, раз возникнув, остается в организме на всю жизнь, то эпигенетические ошибки, в том числе и те, что приводят к дефектам в развитии, онкологическим и другим заболеваниям, исправляются с помощью лекарств. Клиницисты используют эту особенность при лечении лейкозов.

Опасности догматизма

Пройдут годы, а возможно, и десятилетия, пока все данные о ДНК, РНК и эпигенетических механизмах сложатся в стройную теорию, объясняющую работу живого организма. Но уже сейчас ясно, что центральная догма молекулярной генетики, существовавшая с 1950-х годов, долго не продержится. Согласно ей, ДНК является матрицей для синтеза РНК, РНК – матрицей для синтеза белков, а белки – материалом, из которого построены все организмы и который обеспечивает их функционирование. Вся информация о белке заключена в отрезке ДНК – участке молекулы, скрученной наподобие винтовой лестницы, перекладинами которой служат пары азотистых оснований (*A*, *T*, *G* и *C*). Отрезок ДНК, кодирующий определенный белок, – и есть ген.

В соответствии с центральной догмой ген обнаруживает себя (экспрессируется) во время синтеза белка. Этот процесс протекает в четыре стадии. Сначала с ДНК связывается особый фермент, скользящий вдоль молекулы и обеспечивающий комплементарное копирование одной из ее цепей с образованием первичного РНК-транскрипта. Затем из этой РНК вырезаются некодирующие участки – интроны, а оставшиеся фрагменты сшиваются и образуют матричную РНК (мРНК). Далее молекула мРНК выходит из клеточного ядра в цитоплазму, и на ней синтезируется цепочка из аминокислот, которая сворачивается в пространстве определенным образом – и получается функциональный белок.

Трехмерная организация (конформация) белка определяет его функции. Одни белки служат строительным материалом для тканей и органов, другие являются ферментами, катализирующими биохимические процессы, или выполняют роль сигнальных молекул, третьи регулируют работу генов, связываясь со специфическими участками ДНК или РНК. Кажется, что белки выполняют в организме всю мыслимую и немыслимую работу, кроме них геному больше ничего не нужно кодировать. Неудивительно, что долгое время биологи считали, что данный участок ДНК можно назвать геном, только если он детерминирует синтез белка.

«Когда говорят, что геном человека содержит 27 000 генов, имеют в виду лишь те участки ДНК, которые кодируют белки, – уточняет Мишель Жорж (Michel Georges), генетик из Льежского университета в Бельгии. – Это число может слегка варьировать (от 20 000 до 40 000), однако оно никак не соответствует всей сложности человеческого организма». «В геноме плодовой мушки меньше кодирующих последовательностей, чем у круглого червя, а в геноме риса их больше, чем у человека», – напоминает Джон Маттик (John S. Mattick), директор Института молекулярной биологии Квинслендского университета, Австралия. Он считает, что сложность организма определяется другим фактором – содержанием в геноме некодирующих областей.

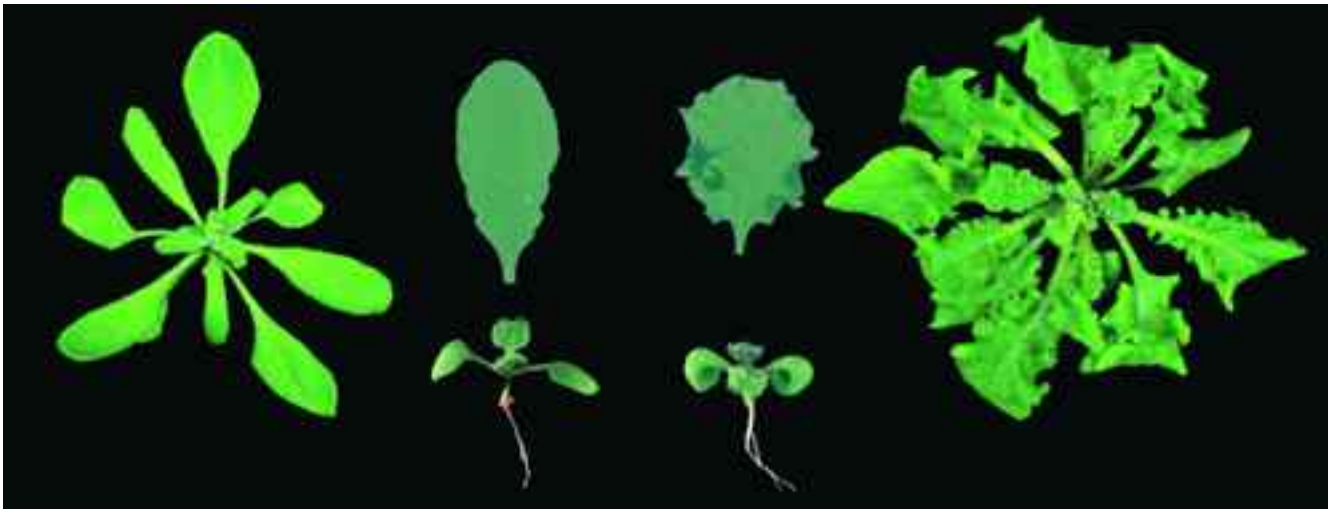
«У высших животных (в том числе у человека) гены не непрерывны, протяженные белок-кодирующие участки чередуются в них с некодирующими, иногда тоже довольно длинными», – поясняет Маттик. На самом деле на долю кодирующих участков в геноме человека приходится не более 2% суммарной длины ДНК. Остальные три миллиарда пар оснований в геноме каждой клетки предназначены для чего-то другого, и тем не менее интроны (составные части генов) и длинные межгенные сегменты ДНК вначале были безоговорочно отнесены к эволюционному «хламу». Оказалось, что вывод был слишком поспешным. «Становится все более очевидным, что в геноме содержится огромное число других генов, не кодирующих никаких белков, но детерминирующих синтез РНК», – говорит Жорж. Термин «ген» утратил свой первоначальный смысл, и чтобы избежать путаницы, ученые стали называть любой транскрибируемый (в РНК) участок ДНК транскрипционной единицей.

«Детальный анализ генома мыши показал, что таких единиц в нем от 70 000 до 100 000, к тому же половина из них может быть некодирующими последовательностями», – сообщил на Международном генетическом конгрессе, состоявшемся в июле 2003 г. в Мельбурне, Клаэс Вальштедт (Claes Wahlestedt) из шведского Королевского института. В таком случае на каждый сегмент ДНК, кодирующий белок, будет приходиться сегмент, «работающий» исключительно на синтез РНК, которая не является просто промежуточным звеном в цепи ДНК-РНК-белок, а сама влияет на свойства клетки.

Недавно ученые провели выборочное сравнение геномов человека, коровы, свиньи, крысы и семи других животных. Было выявлено 1194 сегмента ДНК с минимальными различиями, что свидетельствует об их значимости для указанных организмов.

ОБЗОР: НЕВИДИМЫЕ ГЕНЫ

- Долгое время генетиков интересовала только та небольшая часть геномной ДНК, которая кодирует белки. Остальная ДНК (у человека – до 98% всего генома) списывалась со счетов, ее называли «хламом». Ситуация изменилась с открытием «теневых» генов, конечный продукт которых не белок, а РНК.
- Такие гены, как правило, имеют небольшую длину, и их трудно идентифицировать. Некоторые из них играют ключевую роль в росте и развитии растений и животных, а также предопределяют возникновение некоторых заболеваний.
- Активные формы РНК участвуют в «эпигенетической» регуляции на уровне хромосом.



Малейшие изменения в крошечных генах, отличных от генов в их традиционном понимании, могут приводить к огромным различиям во внешнем виде организмов, их росте и развитии. Листья у *Arabidopsis thaliana* обычно имеют правильную форму – они похожи на ложку (слева). Но если нарушить работу микроРНК, кодируемой геном, единственная функция которого – синтез этой РНК, то растения изменятся до неузнаваемости (справа). МикроРНК контролирует уровень экспрессии многих генов, определяющих внешний вид *Arabidopsis*.

К удивлению исследователей, только 244 сегмента из 1194 лежали в пределах белок-кодирующих последовательностей, 2/3 приходилось на области интронов, а остальные были разбросаны по межгенным участкам совсем недавно считавшимся «хламом».

«Это классический пример упорного нежелания считаться с объективными данными, и такая ситуация сохраняется уже четверть века, – говорит Маттик. – Недооценка роли некодирующих последовательностей – в первую очередь межгенных участков, обеспечивающих параллельный способ передачи информации с помощью молекул РНК, – может стать одной из самых серьезных ошибок в истории молекулярной биологии».

Не просто посредник

Когда биологи наконец обратили внимание на РНК, они обнаружили у нее множество интересных функций, важных с точки зрения биохимии клетки. Как и белки, некоторые РНК-транскрипты могут связываться с другими РНК, ДНК, белками и небольшими химическими соединениями. Однако белки – это аналоговые молекулы, в основе их взаимодействия с другими компонентами клетки лежит принцип «ключ-замок». РНК – более тонкий инструмент, она обладает специфической «отмычкой» (нуклеотидной последовательностью) и, таким образом, является цифровым устройством.

Крошечная молекула РНК может плавать в клеточном «бульоне», пока не натолкнется на ДНК (или другую РНК) с комплементарной последовательностью. Тогда две половинки полинуклеотидной «лестницы» соединяются – *A* образует пару с *T* (или *U*), а *G* – с *C*. Чтобы проиллюстрировать, на что способна РНК, рассмотрим ситуацию с псевдогенами – дефектными копиями генов. Как показали исследования ДНК человека, псевдогенов в ней почти столько же, сколько генов. Десятилетиями о них говорили как о молекулярных «ископаемых» – остатках генов, поврежденных в результате мутаций и превратившихся в хлам на свалке эволюционной истории. Но в мае 2003 г. японские генетики во главе с Синдзи Хироцуне (Shinji Hirotsune) из Медицинской школы Саитамы сообщили, что ими обнаружен первый функциональный псевдоген.

Хироцуне создал генетически модифицированную мышь, несущую ген плодовой мушки *sex-lethal*. Большинству грызунов присутствие в их организме чужеродного гена ничуть не мешало, но у одного из видов ген вел себя в полном соответствии со своим названием: все зверьки погибали, не достигнув половой зрелости. Более детальный анализ показал, что у этих мышей ген *sex-lethal* был встроен справа от центра одного из псевдогенов, *makorin1-p1*. Данный псевдоген – сильно укороченная версия гена *makorin1*, издавна присутствующего у дрозофил, круглых червей и многих других организмов. Какова функция *makorin1*, ученые не знают, но им известно, что в геноме мышей есть множество псевдогенов этого типа и ни один из них не кодирует белки. Но если псевдогены ни для чего не нужны, то почему, лишившись одного из них, мыши погибают?

По какой-то причине ген *makorin1* (по-видимому, только один он) выключается, когда нокаутируется его *p1*-псевдоген. Другими словами, синтезируемая на псевдогене РНК регулирует экспрессию «реального» гена, имеющего сходную нуклеотидную последовательность, и это при том, что ген и псевдоген находятся в разных хромосомах. При чем же здесь тогда приставка «псевдо»?

REPRINTED BY PERMISSION FROM JAVIER F. PALATNIK ET AL. IN *NATURE*, AUGUST 20, 2003 (doi: 10.1038/nature01958)

Пока слишком рано утверждать, что большинство псевдогенов или хотя бы значительная их часть кодируют активные формы РНК. Но помимо псевдогенов такой способностью могут обладать другие генетические элементы, рассеянные по «теневой» части генома. Так, у каждого нормального белок-кодирующего гена есть комплементарная копия, находящаяся на противоположной цепи молекулы ДНК. Обычно она не транскрибируется в РНК и используется для исправления (репарации) повреждений, возникших в комплементарной цепи. Однако известны случаи, когда у этой копии появляется собственная функция. В то время как на «реальном» гене синтезируется матричная смысловая РНК, его «второе я» может кодировать «антисмысловую» РНК с комплементарной последовательностью. Когда эти РНК встречаются, они соединяются друг с другом и образуют двухцепочечную РНК, блокируя синтез белка на смысловой РНК.

Известно, что у бактерий и растений антисмысловая РНК действительно образуется, однако то, что она есть у млекопитающих, вызывает сомнения. Галит Ротман (Galit Rotman) из израильской компании CompuGen развеял все сомнения. Он внимательно проанализировал базу данных по геному человека и обнаружил, что 1 600 генов служат матрицей для синтеза антисмысловых РНК.

Такие РНК могут блокировать экспрессию генов, просто связываясь с соответствующей мРНК. Однако Ротман полагает, что они используют другой механизм, известный как РНК-интерференция (РНК*i*). Ученые столкнулись с этим удивительным феноменом несколько лет назад – тогда речь шла о его участии в избирательном выключении специфических генов. Когда в клетке появляется двухцепочечная РНК, особые ферменты разрезают ее на мелкие фрагменты, разделяют цепи и используют один из фрагментов для поиска и «обезвреживания» комплементарной мРНК, которая спаривается с экзогенным одноцепочечным РНК-фрагментом. Эта система применяется клеткой в борьбе с вирусами, «наводняющими» ее своими двухцепочечными РНК после инфекции. И она же дает в руки ученым тончайший инструмент регуляции экспрессии генов, позволяющий им включать и выключать любой из них по своему усмотрению (см. статью «Геномные цензоры» в предыдущем номере журнала «В мире науки»).

Однако ни с помощью псевдогенов, ни с помощью антисмысловых РНК нельзя объяснить результаты экспериментов на растении *Arabidopsis thaliana*, проведенных Детлефом Вайгелем (Detlef Weigel) из Института имени Макса Планка в Германии. Обычно этот сорняк имеет гладкие удлиненные листья, напоминающие по форме ложку. Своей строгой симметричностью листья обязаны уникальной молекуле – микроРНК, впервые обнаруженной несколько лет назад у круглых червей. Эта молекула, не кодирующая никаких белков, складывается пополам с образованием структуры, напоминающей шпильку для волос. *JAW*-микроРНК *Arabidopsis* воспринимается РНК*i*-механизмом растения точно так же, как двухцепочечная вирусная РНК. Но *JAW*-последовательность спаривается с целым семейством белок-кодирующих генов, контролирующих форму и размер листьев. Исполнительный РНК*i*-контролер блокирует их работу, разрезая на кусочки большую часть (но не все!) кодируемых ими мРНК. Таким образом, *JAW*, крошечный ген, единственная функция которого – кодирование специфической РНК, служит тем самым ключевым элементом, с помощью которого клетки *Arabidopsis* задают нужный уровень экспрессии генов, отвечающих за форму листьев. Генетически модифицированные растения, в которых микроРНК не работала, имели деформированные листья и плохо росли.

За три года, прошедших с момента, когда на микроРНК всерьез обратили внимание, были обнаружены сотни подобных молекул – у одного человека их оказалось более 150. Живые организмы используют их как надежный инструмент для контроля экспрессии генов; примерно половина микроРНК, присутствующих у человека, обнаружена (практически в таком же виде) у иглобрюха, хотя оба вида дивергировали 400 млн. лет назад.

Недооценка роли некодирующих последовательностей может стать одной из самых серьезных ошибок в истории молекулярной биологии.

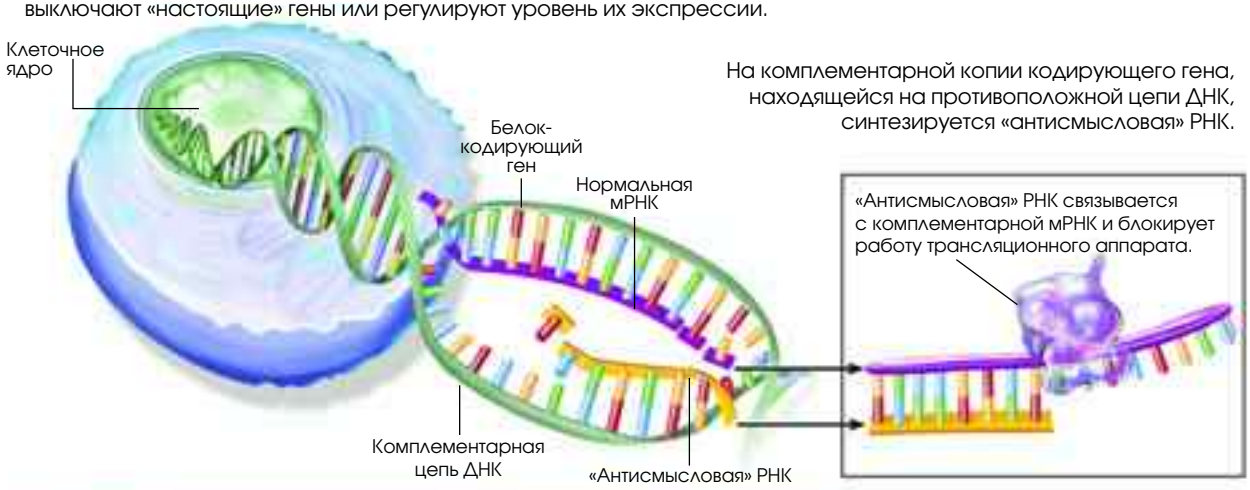
Какие именно функции выполняют 150 микроРНК у человека – неизвестно. Анна Кричевски (Anna M. Krichevsky) из Гарвардской медицинской школы полагает, что они играют важную роль в формировании мозга. Используя «генный чип» для скрининга 44 разных типов микроРНК в нейронах мышей, она пришла к выводу, что уровень девяти из них строго регулируется во время развития мозга. Все полученные данные носят косвенный характер, однако, по мнению Кричевски, «в изучении роли микроРНК нас ожидает настоящая революция».

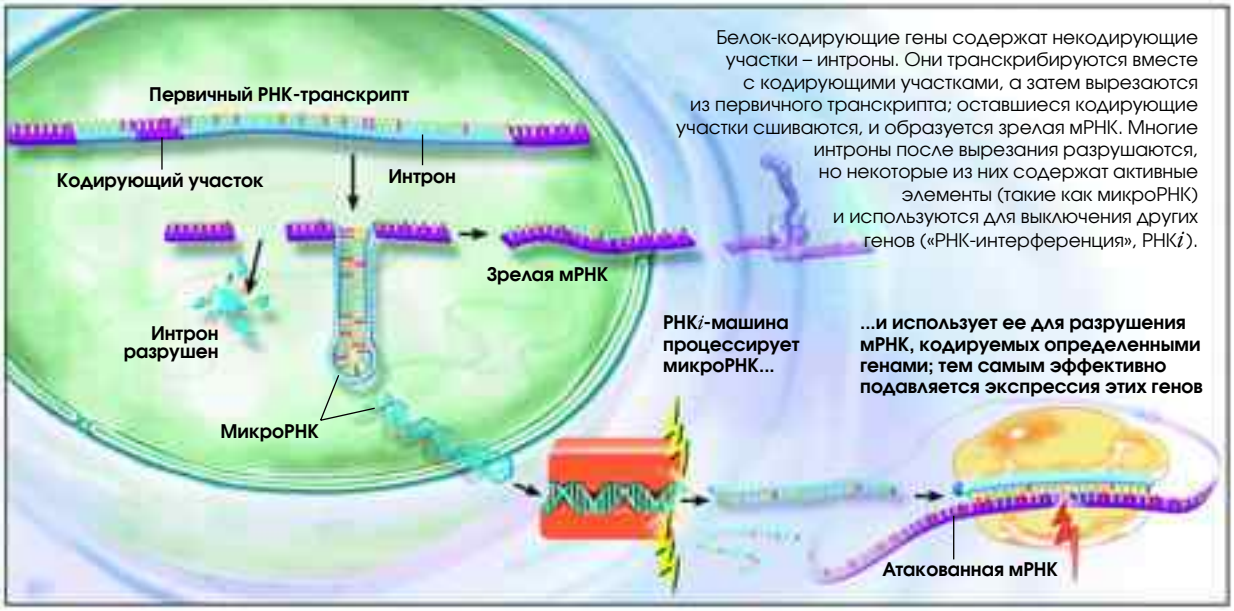
Аналого-цифровые молекулы

Если белки можно считать «рабочими лошадками» клетки, то активные

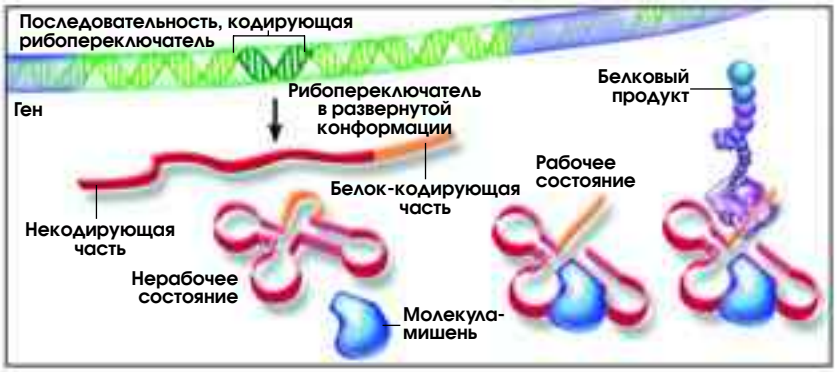
ИСТОРИЯ О ГЕНАХ С «НЕТРАДИЦИОННОЙ ОРИЕНТАЦИЕЙ»

Согласно общепринятой точке зрения, гены – это участки ДНК, кодирующие функциональные белки. Однако на долю таких участков приходится всего 2% генома человека. Остальная часть занята некодирующей ДНК, которую никак нельзя назвать бесполезной. Ученые обнаруживают в геноме все больше и больше некодирующих генов, которые на самом деле кодируют разнообразные РНК с удивительными свойствами. Среди них есть такие, которые выключают «настоящие» гены или регулируют уровень их экспрессии.





Рибопереключатели – разновидность РНК, действующая как точнейший сенсорный механизм. Данные РНК кодируются участками ДНК, разделяющими «традиционные» гены, и имеют сложную пространственную конфигурацию. Одна часть молекулы РНК связывает специфический белок или другое химическое вещество, другая служит матрицей для синтеза белка. Рибопереключатель переходит в состояние «вкл.» и начинает вырабатывать белок только после поступления сигнала – связывания молекулы-мишени.



TERESE WINSLOW

РНК – погонщиками. Некоторые из них служат «тягловой силой», катализируя клеточные процессы, они выступают в роли сигнальных молекул и «выключателей» точно так же, как белки. Иногда они становятся виновниками некоторых наследственных заболеваний, долгое время остававшихся загадкой для ученых, занимавшихся поисками мутантных белков и не обращавших внимания на активные РНК.

На поиски гена, ответственного за волосатую хрящевидную гипоплазию (*CHH*, от англ. *cartilage hair hypoplasia*), было потрачено девять лет. Это заболевание с рецессивным типом наследования впервые было обнаружено у амишей. Каждый двадцатый член этой консервативной протестантской секты меннонитов был носителем одной из копий дефектного гена, связанного с редкой формой карликовости. Люди, страдающие *CHH*, не только отличаются низким ростом, но у них гораздо чаще, чем в среднем в популяции, развивается рак и наблюдаются расстройства иммунитета. Генетик Марет Риданпя (Maaret Ridanpaa) из Хельсинского университета определил нуклеотидную последовательность соответствующего гена и прилежащих к нему обширных сегментов ДНК и исследовал один за другим все 10 белков, кодируемых данной областью генома. Ни один из них не обнаружил никакой связи с заболеванием.

Наконец, в 2001 г. группа Риданпя нашла виновника: им оказался ген *RMRP*, единственная функция которого – кодирование РНК. Эта РНК связывается с белками с образованием ферментного комплекса, функционирующего в «энергетических фабриках» клетки – митохондриях. Замена всего одного нуклеотида в определенной позиции в молекуле РНК может стать причиной трагедии – жизнь обладателя мутантной РНК будет недолговечной и неполноценной. Несчастье неизбежно произойдет, если носителями мутации окажутся оба родителя и если они передадут ее своему ребенку. Как было недавно показано, РНК с «аналоговым» механизмом действия (т.е. РНК, принимающие, подобно белкам, сложную конформацию) необходимы для работы ферментов, которые защищают хромосомы и принимают участие в транспорте секретируемых сигнальных белковых молекул к границам клетки.

Но самые удивительные из всех РНК – рибопереключатели, выделенные в прошлом году Роналдом Брейкером (Ronald R. Breaker) из Йельского университета. Ученого давно занимал вопрос: как миллиарды лет назад, когда еще не существовало ни ДНК, ни белков, а были лишь РНК, могли эволюционировать самые первые химические предшественники живых организмов? Может быть, чтобы приспособиться к изменяющимся условиям, они использовали в качестве сенсоров и выключателей РНК? Для проверки этой гипотезы Брейкер попытался создать мРНК, обладающие указанными свойствами.

«Мне удалось синтезировать целый ряд рибопереключателей», – вспоминает исследователь. Длинные молекулы состояли из кодирующей и некодирующей областей. Некодирующая область, находящаяся в свернутом состоянии, служила чувствительным сенсором, который реагировал на определенное химическое вещество. Как только это вещество связывалось с ним, кодирующая область РНК изменяла конформацию и могла служить матрицей для синтеза белка. Таким образом, рибопереключатель функционировал аналогично

ГЕНЕТИКА, ВПЕРЕД!

С того времени, как с изобретением технологии рекомбинантных ДНК у биологов появилась возможность манипулировать генетическим материалом, большинство экспериментов стало проводиться в «обратном» порядке. Появился даже термин «обратная генетика». В подобных исследованиях с геном, который хотят изучить, осуществляют манипуляции – в культуре клеток или на уровне целого организма. Ученые пытаются понять, какую функцию выполняет ген. Это один из классических редукционистских подходов, и до поры до времени он был вполне оправдан.

Но появлялось все больше свидетельств того, что геном помимо белок-кодирующих генов содержит гены другого типа – то, что долгое время ошибочно считали «мусором». И тогда стала ясна одна из основных проблем «обратной генетики» – узость поля зрения. В результате целый ряд биологов вернулся на проторенные пути «прямой генетики», где можно идентифицировать как «обычные» гены, так и «нетрадиционные», о которых вообще ничего не известно.

В прошлом году в Калифорнии появилась биотехнологическая компания *Phenomix*. Ее основатели, в числе которых несколько известных генетиков, надеются, что исследования в области «прямой генетики» окажутся коммерчески выгодными. В компании создано что-то вроде поточной линии по производству мутантных мышей. В каждой группе грызунов есть особи, несущие случайные мутации не только в обычных генах, но и в генах из теневой части генома, которые кодируют только РНК, а не белки.

Эксперименты проводятся как на здоровых мышах, так и на страдающих различными недугами – диабетом, астмой, артритом, болезнью Паркинсона… Какие-то мутации провоцируют или усиливают симптомы этих заболеваний. Затем проводится генетический скрининг, с тем чтобы определить, какие именно мутации отвечают за наблюдаемый эффект. Можно ли будет использовать такой подход для создания более эффективных лекарственных препаратов для лечения указанных болезней – покажет будущее. Но «прямая генетика» уже принесла реальные плоды – открыты функциональные псевдогены (см. основной текст), о существовании которых никто не догадывался.



Эти мыши, принадлежащие к высокоинбредной линии, являются клонами – их геномы практически идентичны. Тем не менее окраска шерсти зверьков необычайно разнообразна – она варьирует от золотисто-желтой до красновато-коричневой, и все из-за различий в «эпигенетических» отметинах, которые затрагивают сегменты ДНК, лежащие вне генов в их традиционном понимании. Исходя из ныне существующих законов генетики, характер окраски волосков этих грызунов предсказать нельзя.

обычному гену – но только в ответ на определенный сигнал.

Брейкер начал интенсивные поиски рибопереключателей и вскоре выяснил, что информация о них закодирована в межгенных участках ДНК. Сегодня эти удивительные молекулы обнаружены у представителей всех трех царств. «Это дает основания полагать, что они присутствовали у самого последнего их общего предка», – замечает ученый.

В августе 2003 г. Брейкер сообщил, что одно семейство рибопереключателей регулирует экспрессию, по крайней мере, 26 генов у *Bacillus subtilis* – бактерии, которую можно встретить на любой кухне. И это не какие-нибудь гены «разового использования», их продукты отвечают за метаболизм таких важных веществ, как сера и аминокислоты. По оценкам исследователя, не менее 68% генов *B.Subtilis* (а это почти 2% суммарного числа генов бактерии) находятся под контролем рибопереключателей. В лаборатории уже приступили к работам по созданию гибридных аналогово-цифровых молекул для практического применения, например таких, которые могли бы использоваться для избирательного уничтожения микробов.

Полная картина

По мере того как биологи обнаруживали все новые и новые типы РНК-генов в межгенных участках и интронах, они все более отчетливо понимали, какой долгий путь нужно пройти, чтобы составить полный план строения генома человека и любого другого высшего животного. В отличие от белок-кодирующих генов, имеющих четкие границы (стоп- и старт-кодоны), РНК-гены настолько разнообразны, что компьютер не может однозначно вычленить их из нуклеотидной последовательности. Чтобы подтолкнуть развитие соответствующих технологий, Национальный институт США по исследованию генома человека объявил осенью 2003 г. о начале работы над амбициозным проектом «Энциклопедия элементов ДНК». Его цель – составление каталога всех типов РНК и белков, кодируемых областью генома человека, длина которой составляет 1% суммарной длины генома. Проект предполагается реализовать за три года, на его осуществление выделено $36 млн.

Никто не может представить картину, когда невидимые пока глубинные информационные слои выйдут на поверхность. Как полагает Маттик, «то, что долгое время считалось ни на что не годным «хламом», на самом деле определяет всю сложность человеческого существа». Псевдогены, рибопереключатели и другие хитроумные «устройства» дают основания полагать, что так оно и есть. Активные формы РНК помогают регулировать общую структуру хромосом и их химическую модификацию – то, что составляет новый, эпигенетический информационный слой.

Изучение эпигенетического феномена позволит разгадать загадки, давно не дающие ученым покоя. Как может жить человек, обремененный таким количеством бесполезной ДНК? Почему так трудно клонировать взрослое животное и сравнительно легче – зародыш? Почему некоторые признаки необъяснимым образом «перепрыгивают» через поколения? В следующем номере мы остановимся на результатах самых последних исследований эпигенетического феномена и обсудим первые попытки его применения в биомедицине и биотехнологии. ■

Уэйт Гиббс (W.Wayt Gibbs) – выпускающий редактор *Scientific American*.

HUGH MORGAN

КОСМИЧЕСКИЙ буксир

Рассел Швейкарт, Эдвард Лю, Пайет Хат, Кларк Чапман

Космический буксир с плазменными двигателями может предотвратить столкновение астероида с Землей.

Космический буксир толкает астероид. Для создания непрерывного давления на него могут быть использованы плазменные двигатели. Система излучающих панелей предназначена для рассеяния тепла, выделяемого ядерным реактором, расположенным в секции, ближайшей к поверхности опасного объекта. Составная «рука» буксира крепится к поверхности космического тела.



Космический буксир должен будет на протяжении длительного времени сообщать астероиду импульс малой тяги.

Каждую ночь в атмосферу Земли влетает более 100 млн. твердых межпланетных частиц – обломков астероидов и комет. К счастью, они мелкие: суммарная масса 100 млн. частиц не превышает нескольких тонн. Атмосфера нашей планеты достаточно плотная, чтобы обратить в пар подавляющее большинство космических пришельцев. Они не приносят вреда, лишь оставляют за собой яркие следы. Люди называют их падающими звездами.

Однако более крупные тела не испаряются, а взрываются. Так, в январе 2000 г. над канадской территорией Юкон разлетелась на куски глыба поперечником два-три метра. Мощность ее взрыва составляла 4–5 кт тротилового эквивалента. Такое происходит примерно раз в год. В июне 1908 г. в районе реки Тунгуски наблюдалось падение огромного огненного шара, сопровождавшееся колоссальным взрывом, который повалил лес на площади больше 2000 кв. км. Сегодня ученые склоняются к мнению, что это был каменный астероид диаметром 60 м, разлетевшийся на куски на высоте примерно 6 км с энергией порядка 10 Мт тротилового эквивалента. Взрывная волна опустошила территорию, равную по площади Нью-Йорку.

Результаты последних наблюдений околоземных тел – астероидов и комет, траектории которых пересекаются с орбитой Земли, – предсказывают 10-процентную вероятность развития подобного события в нынешнем веке. Астероиды диаметром в сотню метров и больше таят в себе еще более серьезную угрозу, поскольку они способны столкнуться с Землей. Такой удар, вероятность которого оценивается в 2% на срок до 2100 г., вызовет взрыв энергией не меньше 100 Мт тротилового эквивалента. Если астероид подобного размера упадет в океан (куда попадает 70% всех внеземных объектов), он создаст цунами, способную погубить миллионы людей. События такого рода происходят раз в 40 тысяч лет. Астероид же поперечником больше километра вызовет при соприкосновении с Землей взрыв с энергией в 100 тыс. Мт тротилового эквивалента, что превышает суммарную энергию ядерного оружия, существующего на Земле. Удары таких и более крупных тел способны уничтожить земную цивилизацию, а вероятность того, что подобное произойдет в нашем столетии, оценивается в 0,0002.

Как предотвратить катастрофу? Ученые и инженеры предложили ряд проектов, позволяющих изменить траектории астероидов, направляющихся к Земле (см. врез на стр. 32). Некоторые склоняются к подрыву ядерного устройства на поверхности астероида или вблизи него для того, чтобы расколоть его или изменить траекторию. Однако последствия этого предсказать трудно. Вот уже два года мы исследуем концепцию беспилотного космического буксира, который должен встретиться с приближающимся астероидом, закрепиться на его поверхности и вывести на безопасную для Земли орбиту. (Кометы не рассматриваются, поскольку на них приходится лишь 1% общей угрозы для нашей планеты.) Чтобы толкать астероид, космический буксир должен использовать работающие на ядерной энергии двигатели, выбрасывающие потоки плазмы – высокотемпературной смеси ионов и электронов. Надеемся, что к 2015 г. нам удастся запустить прототип.

Зачем, казалось бы, разрабатывать такой космический аппарат сегодня, когда астрономы еще не обнаружили астероиды, грозящие столкновением с Землей? Известно, что систему необходимо испытать до того, как она срочно понадобится. Астероиды, представляющие опасность, полностью не изучены: мы ничего не знаем об их внутреннем строении, свойствах поверхности и структурной целостности, не можем предсказать того, что произойдет, когда космический буксир начнет толкать астероид. Лучший способ предотвратить катастрофу – прикрепить космический аппарат к астероиду и затем попытаться его двигать. В результате мы сможем изучить природу астероидов.

В рамках проекта «Прометей» *NASA* уже разрабатывает ядерные реакторы, которые смогли бы обеспечивать энергией двигатели межпланетного аппарата. Она намеревается оборудовать подобными системами космический аппарат *JIMO* (*Jupiter Icy Moon Orbiter*), который запустят для исследования спутников Юпитера – Ганимеда, Калипсо и Европы – в следующем

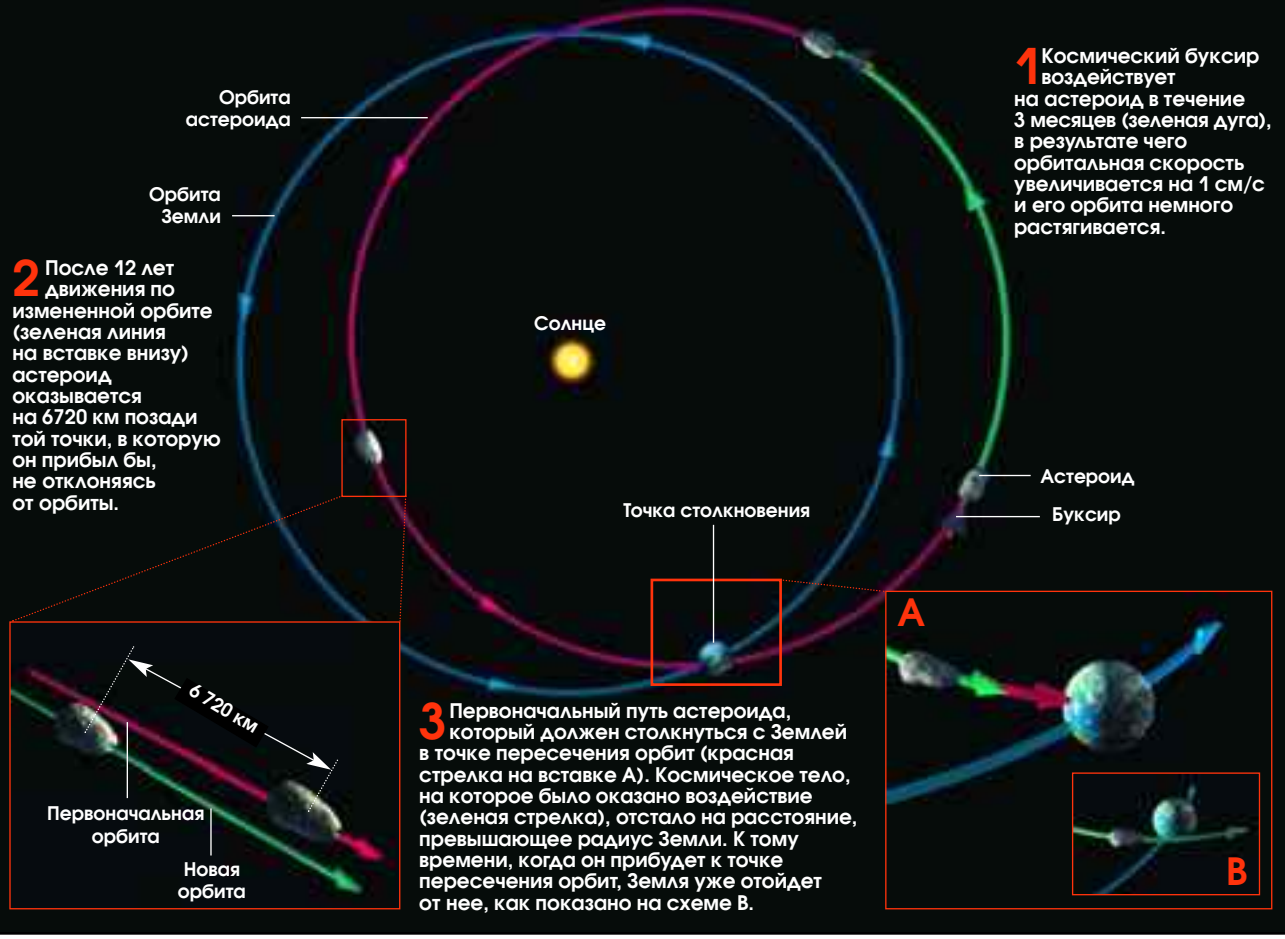
ОБЗОР: ОТТАЛКИВАНИЕ АСТЕРОИДА

- Околоземные астероиды таят угрозу. Прямой удар стометрового небесного тела разрушит крупный город, а километровый гигант способен смести с лица земли цивилизацию.
- Предложения по изменению траектории движения астероидов с помощью ядерного взрыва или кинетического удара необоснованны. Космический буксир с плазменными двигателями малой тяги изменит орбиту астероида так, что он пролетит мимо Земли (при условии, что предупреждение об угрозе поступит заблаговременно).
- Проект, демонстрирующий концепцию космического буксира, можно осуществить к 2015 г. *NASA* уже разрабатывает ядерные реакторы и системы создания тяги, которые могут быть использованы для космического буксира.

PAT RAWLINGS/SAIC (preceding pages)

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ СТОЛКНОВЕНИЯ

Космический буксир может изменить траекторию движения астероида, подталкивая его в нужном направлении. Приведенная схема демонстрирует, что буксир начал толкать небесное тело за 12 лет до ожидаемого столкновения с Землей и что период обращения астероида по его орбите составляет 1,15 лет.



ALFRED T. KAMAJIAN

десятилетии. Такую же технологию можно будет использовать для осуществления проекта глобальной безопасности.

Проект B612

Чтобы иметь запас времени и успеть принять меры, астрономы должны обнаружить опасный объект не меньше чем за 10 лет до ожидаемой катастрофы. Самый эффективный способ предотвратить столкновение астероида с Землей – либо увеличить его орбитальную скорость, толкая его в направлении движения по орбите, либо уменьшить ее, вынуждая астероид перемещаться в противоположную сторону. Изменение его скорости ведет к изменению периода его обращения по орбите вокруг Солнца. Поскольку Земля движется со средней скоростью 29,8 км/с, а ее диаметр равен 12 800 км, на половину своего диаметра она смещается за 215 с. Если астероид сталкивается с Землей лоб в лоб, задача состоит в том, чтобы заставить гигант прибыть к месту встречи на 215 с раньше или позже Земли и пролететь мимо, не задев ее (см. рисунок вверху).

За 10 лет до ожидаемого столкновения астероида с Землей буксир изменит его орбитальную скорость всего на 1 см/с, немного растянет орбиту и удлинит период его обращения вокруг Солнца. Если, например, период составляет два года, изменение орбитальной скорости на 1 см/с увеличит его на 45 с. В результате этого через 10 лет астероид прибудет к месту встречи с Землей с опозданием на 225 с. Этого будет достаточно, чтобы он «промахнулся». Но буксир может и уменьшить орбитальную скорость астероида, чтобы сжать его орбиту и уменьшить период обращения на те же 45 с. Тогда через 10 лет астероид прибудет к месту встречи на 225 с раньше Земли. Разумеется, если буксир достигнет цели с меньшим запасом времени до момента ожидаемого столкновения с Землей, потребуется подтолкнуть гигант сильнее. Поэтому важно заблаговременно и точно определить орбиты всех околоземных астероидов (см. врез на стр. 34).

Была разработана программа под названием «Проект *B612*» (*B612* – астероид в книге Антуана де Сент-Экзюпери

«Маленький принц»). Мы предложили разработать космический буксир, способный изменить на нужную величину скорость 200-метрового астероида. Двухсотметровый каменный гигант имеет массу около 10 млн. тонн. Космический буксир должен приложить небольшое усилие – около 2,5 Н, чтобы изменить его орбиту, а не расколоть астероид. За три месяца скорость такого астероида изменится на 0,2 см/с. Если обнаружится реальная угроза столкновения Земли с объектом такого размера, то масштаб нашего проекта придется увеличить раз в пять или начинать воздействие не менее чем за 50 лет до ожидаемой катастрофы.

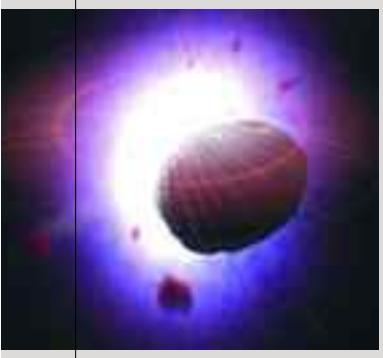
Для космического буксира и доставки его к месту встречи с астероидом потребуется много топлива. Среднее изменение скорости, необходимое для полета от Земли к нему, составляет около 15 км/с – на треть больше, чем необходимо для преодоления земного тяготения. Обычным ракетным двигателям на химическом топливе, в которых оно смешивается с окислителем в камере сгорания, будет трудно разогнать тяжелый космический аппарат. Проект *B612* потребует такое количество топлива, что его невозможно будет запустить одной ракетой. Для доставки всех его компонентов на низкую околоземную орбиту понадобятся десятки мощных ракет. Затем аппарат нужно будет собрать на орбите, что увеличит стоимость проекта и задержит полет к астероиду.

Необходимо создать космический аппарат, который можно запустить одной

ПРЕДЛАГАЕМЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕНЕНИЯ ОРБИТЫ АСТЕРОИДА

Короткий сильный толчок или малое и длительное усилие?

ЯДЕРНЫЙ ВЗРЫВ. Предлагались две схемы ядерного взрыва. В первом случае астероид разлетится на мелкие осколки. Во втором варианте взрыв произойдет на некотором удалении от астероида, чтобы распалить одну из его сторон и вызвать испарение горных пород, которое создаст толчок, способный придать астероиду ускорение, направленное в противоположную сторону. Преимущество рассмотренных подходов состоит в том, что технологии, необходимые для их осуществления, отработаны. Теоретически мощный ядерный взрыв может отклонить орбиту крупного астероида даже тогда, когда до его столкновения с Землей остается всего несколько месяцев. Беда в том, что результат такого воздействия непредсказуем. Взрыв может разбить астероид на несколько крупных кусков и тем осложнить проблему, так и не решив ее.



Ядерный взрыв может раздробить астероид вместо того, чтобы изменить его орбиту.

КИНЕТИЧЕСКИЙ УДАР. План использования кинетического удара состоит в том, чтобы запустить к астероиду самый массивный из имеющихся космических аппаратов, который врежется в опасный астероид с максимальной скоростью. Для того чтобы вызвать достаточно ощутимое отклонение крупного астероида, необходимы огромные скорости. Поэтому основная трудность заключается в том, что космический аппарат надо направить таким образом, чтобы основная часть энергии соударения пошла на изменение вектора скорости астероида, а не на изменение скорости его вращения. Как при ядерном взрыве, риск раздробления астероида сохраняется.

КАТАПУЛЬТА – сооружение, построенное на поверхности астероида и стреляющее в космос каменными глыбами, в результате чего космическому телу сообщается ускорение в противоположном направлении. Выброс массы вызовет изменение скорости движения астероида, достаточное для того, чтобы предотвратить его столкновение с Землей. Преимущество подхода состоит в том, что доставка ракетного топлива с Земли не нужна. Однако процесс метания глыб также потребует большой энергии. Кроме того, конструирование катапульты и сборка ее на астероиде при помощи роботов – чрезвычайно трудная задача.

АБЛЯЦИЯ. Абляционный метод основан на разогреве небольшого участка астероида с помощью мощного лазера, или благодаря солнечному свету, отраженному от огромного космического зеркала. Испарения будут толкать объект в нужном направлении. Вращение астероида не создает трудностей для осуществления задачи. Однако необходимо обеспечить заданное положение лазера или зеркала относительно астероида в течение длительного времени, для чего потребуется значительное количество топлива. Кроме того, испаряемый материал астероида может осаждаться на оптические элементы системы (лазера или зеркала), ухудшая их характеристики.

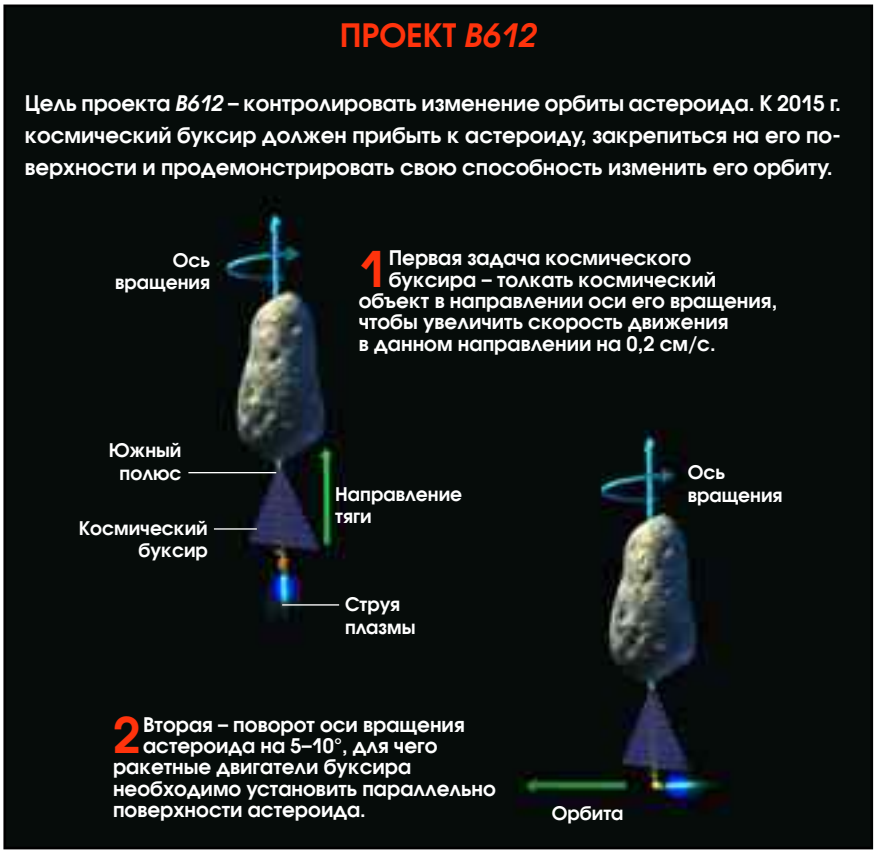
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАВЛЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО СВЕТА. Космический аппарат должен покрыть поверхность астероида краской с высокой отражающей способностью, чтобы изменить силу давления солнечного излучения на астероид и тем самым постепенно изменить его орбиту. Однако этот метод неосуществим, так как потребуется несметное количество краски, а нанести ее на поверхность астероида будет чрезвычайно трудно.

ПОСАДКА НА АСТЕРОИД И ТОЛКАНИЕ ЕГО. Идея космического буксира очень проста. Система реактивной тяги, необходимая для доставки буксира к астероиду, будет использоваться и для изменения траектории астероида. Главное преимущество подхода – он обеспечивает полный контроль. Основные трудности представляют маневрирование космического аппарата вблизи астероида и закрепление его на поверхности последнего.

PAT RAWLINGS/SAIC

мощной ракетой, такой как «Протон», *Arian 5* или *Titan 4*. Поскольку его общая масса должна быть меньше 20 т, ему потребуются исключительно эффективные двигатели. Мера эффективности ракетного двигателя – удельный импульс, определяемый как отношение создаваемой тяги к массе топлива, расходуемого за одну секунду; единица измерения удельного импульса – секунда. Наиболее эффективные ракетные двигатели на химическом топливе характеризуются его значением при работе в космосе до 425 с. Но двигатели для космического буксира должны иметь удельный импульс 10 тыс. с – недостижимый для двигателей на химическом топливе, но не являющийся пределом для электрических ракетных, в которых для ускорения ионов, выбрасываемых из сопла, используются электрические или магнитные поля. В таких системах достижимы гораздо более высокие скорости истечения, чем в двигателях на химическом топливе, в которых оно просто сжигается, а расширяющиеся горячие газообразные продукты сгорания истекают из сопла. Ионные ракетные двигатели с удельным импульсом 3 тыс. с уже успешно работали в космосе. Перспективный новый *VASIMR* (*Variable Specific Impulse Magnetoplasma Rocket* – магнитоплазменный ракетный двигатель с регулируемым удельным импульсом) основан на использовании электромагнитного излучения для ионизации газа и выброса плазмы с еще более высокими скоростями. В нем для направленного выброса расширяющегося потока ионов вместо обычного сопла используются магнитные поля, что позволяет получать удельный импульс от 3 тыс. до 30 тыс. с.

Разумеется, за такие характеристики приходится платить. Хотя плазменные и ионные двигатели гораздо эффективнее химических, их тяга гораздо меньше (потому что высокотемпературный поток плазмы разрежен). Дать удельный импульс в 10 тыс. с способны несколько разрабатываемых сегодня ионных двигателей, но большинство их, за исключением *VASIMR*, развивает



тягу меньше 0,1 Н. Для получения требуемого усилия 2,5 Н понадобится их связка. Но даже при совместном действии им потребуется толкать астероид слишком долго, чтобы изменить его орбиту в нужной степени. Правда, возможность длительной работы ионных двигателей уже продемонстрирована: двигатель космического аппарата *Deep Space 1*, запущенного в октябре 1998 г., проработал в общей сложности 670 суток.

Для обеспечения необходимой тяги плазменному двигателю понадобится электрическая мощность около 250 кВт (если принять КПД двигателя равным 50%). Такая мощность лежит за пределами возможностей солнечных батарей,

ОБ АВТОРАХ:

Рассел Швейкарт (Russell L. Sdhweikart), **Эдвард Лю** (Edward T. Lu), **Пайет Хат** (Piet Hut) и **Кларк Чапман** (Clark R. Chapman) основали в октябре 2002 г. Фонд *B612* – некоммерческую группу по разработке и демонстрации системы, способной отклонять астероиды от Земли. Председатель фонда Швейкарт – бывший астронавт *NASA*, пилотировавший в 1969 г. лунный модуль и бывший командующий дублирующим экипажем первой миссии *Skylab* в 1973 г. Президент фонда Лю – действующий астронавт, прислал материалы для статьи по электронной почте с борта Международной космической станции. Хат занимает должность профессора в Институте передовых исследований в Принстоне (шт. Нью-Джерси). Круг его научных интересов – вычислительная астрофизика и исследование плотных звездных систем. Чапман – научный сотрудник Юго-западного исследовательского института в Боулдере (шт. Колорадо) и член научной группы по предстоящему полету *Messenger* на Меркурий.

ALFRED T. KAMAJIAN

применяемых на небольших космических аппаратах. Даже огромные солнечные батареи Международной космической станции после завершения ее постройки будут вырабатывать меньше половины этой мощности (а их масса составит больше 65 т). Ясно, что такая установка непригодна для космического аппарата, масса которого должна быть меньше 20 т. Сегодня единственной технологией, способной непрерывно обеспечивать нужную мощность в течение нескольких лет при общей массе установки всего в несколько тонн, – расщепление ядерного топлива.

Ядерный реактор для космического буксира должен быть простым, компактным и безопасным. К счастью, *NASA* уже предложила несколько новых конструкций реакторов для космических аппаратов, одна из которых уже прошла испытания. Новые реакторы обладают важной особенностью, обеспечивающей безопасность, – применяемое в них ядерное топливо имеет малую радиоактивность, пока реактор не проработает, выдавая энергию, в течение долгого времени. Поскольку реактор будет запускаться «холодным», т.е. в неактивном состоянии, даже катастрофа при старте не нанесет вреда окружающей среде. Если при взрыве в момент запуска ракеты будет распылено все урановое ядро новейшего космического реактора *SAFE 1000*, в атмосферу попадет от 6 до 10 кюри – т.е. меньше, чем доля излучения радиоактивных материалов, содержащихся в стенах Большого центрального вокзала Нью-Йорка. Команду запуска реактора наземные службы дадут только тогда, когда он будет находиться уже на безопасном удалении в космосе.

ПРОЧЕСЫВАНИЕ НЕБА

18 марта 2002 г. средства массовой информации всего мира сообщили, что Земля только что избежала гибели, которая могла произойти в результате ее столкновения с астероидом *2002 EM7*. Астрономы обнаружили 70-метровую каменную глыбу четыре дня спустя после того, как она пролетела мимо Земли на расстоянии 461 000 км от нее – это примерно в 1,2 раза больше расстояния от Земли до Луны. Хотя это событие почти не привлекло внимания, *2002 EM7* – лишь один из сотен тысяч астероидов, которые пролетали вблизи Земли или пересекали ее орбиту. Международная служба по выявлению и отслеживанию опасных космических объектов получила название «Космический дозор».

В 1998 г. *NASA* по настоянию конгресса США предложила выявить 90% из примерно 1 100 околоземных объектов поперечником больше 1 км. За пять лет астрономы открыли 660 таких объектов и свыше 1 800 более мелких. Большинство из этих астероидов были обнаружены, подобно *2002 EM7*, когда они уже покидали окрестности Земли. К счастью, любой из тысячи опасных пришельцев из космоса, вероятнее всего, сначала пролетит мимо нашей планеты на расстоянии, в несколько раз превышающем дистанцию от Земли до Луны. Если астрономы обнаружат угрожающий столкновением объект, это произойдет, вероятно, за десятки или даже за сотни лет до ожидаемой катастрофы. Вероятность того, что опасность будет замечена совсем незадолго до всемирной беды, чрезвычайно мала.

Каждый раз, когда «Космический дозор» обнаруживает новый околоземный объект, ученые вычисляют его орбиту, прогнозируя, может ли он в ближайшие 100 лет столкнуться с Землей. Подавляющее большинство (больше 99%) найденных до сих пор объектов не представляются опасными. Изредка «Космический дозор» определял околоземные объекты, которые, по расчетам, должны в ближайшие десятилетия пролететь близко от Земли. Поскольку точность расчетов будущей орбиты, как и всех прогнозов, не абсолютна, некоторые из этих объектов могут угрожать столкновением с нашей планетой.



Телескоп ракетного полигона Уайт-Сандс в штате Нью-Мексико. Подобные же используется в работе «Космического дозора».

Астероид поперечником 200 м не вызовет такого сильного разрушения, на какое способен километровый гигант, но, породив взрыв с энергией порядка 600 Мт тротилового эквивалента, уничтожит целый город. Хотя «Космический дозор» выявил множество астероидов подобных размеров, чтобы обнаружить более мелкие объекты, орбиты которых пересекают земную, потребуются самые мощные телескопы. Ученые выдвинули предложения, способствующие поиску более мелких астероидов – размером порядка 200 м, – но программа пока не принята. В лучшем случае расширенный поиск сможет быть завершен не раньше, чем лет через 15–20.

Проблема вращения астероида

Сложнейшей задачей для миссии *B612* будет маневрирование вблизи астероида-цели, посадка на его поверхность и прикрепление к ней. В 2000 г. космический аппарат *NEAR-Schoemaker* в результате успешного маневра вышел на орбиту вокруг Эроса, второго по величине из известных околоземных астероидов, и сумел совершить незапланированную посадку на поверхность небесного тела длиной 34 км. Сегодня к околоземному астероиду *1998SF36* летит японский космический аппарата *Hayabusa* (ранее носивший название *Muses-C*), в котором используются ионные двигатели. Со временем он должен несколько раз коснуться поверхности этого астероида, чтобы взять пробы грунта и доставить их на Землю. Однако космический буксир

REPRINTED BY PERMISSION OF M.I.T. LINCOLN LABORATORY, LEXINGTON, MASS.

будет гораздо крупнее обоих аппаратов, и ему предстоит прочно прикрепиться к астероиду, поскольку сила гравитационного притяжения на поверхности такого маленького небесного тела в сто тысяч раз меньше, чем на Земле. Исследователи рассматривают несколько концепций, позволяющих удержать буксир на поверхности астероида, но окончательный выбор зависит от результатов изучения состава и структуры малых астероидов.

Для разгона или торможения астероида направление вектора тяги космического буксира необходимо удерживать параллельным вектору скорости движения астероида по орбите. Однако мелкие астероиды вращаются, совершая до 10 оборотов вокруг своей оси за одни земные сутки. Возможное решение данной проблемы – остановка вращения астероида до начала процесса изменения траектории. Буксир должен закрепиться на экваторе астероида (на кольцевой линии, лежащей посередине между полюсами оси его вращения), направить свои двигатели горизонтально вдоль экватора и работать до тех пор, пока сила их тяги не остановит вращение астероида.

Метод достаточно рискован, поскольку многие каменные астероиды, по-видимому, представляют собой пористые груды небольшой плотности, состоящие из множества крупных и небольших глыб, промежутки между которыми заполнены мелкими камнями и песком, и все это удерживается слабым полем тяготения астероида. Хотя такая структура может выдержать воздействие в несколько ньютон, распределенного по площади в 2–5 м^2, этого нельзя сказать о внутренних напряжениях, вызванных замедлением и остановкой вращения астероида. Вероятно, нарушение тонкого баланса гравитационных и центробежных сил, связанных с вращением астероида, может привести к его разрушению.

Поэтому предпочтительно сохранить вращение астероида, постепенно приводя ось к направлению вектора скорости орбитального движения астероида, не меняя ориентации этой оси. Буксир будет толкать вертящийся астероид по его орбите, подобно детской вертушке. Для демонстрационной миссии *B612* мы планируем выбрать астероид, крутящийся с частотой около 4 оборотов за земные сутки (типичной для астероидов такого размера), и повернуть ось его вращения на 5–10° (см. рисунок на стр. 33). При силе тяги в 2,5 Н, приложенной к любому из полюсов астероида, для такого поворота оси потребуется около двух месяцев непрерывной работы двигателей.

Другая важная цель – так изменить орбиты астероида, чтобы через несколько лет он не вернулся вновь на путь, ведущий к столкновению с Землей. Тела, пролетающие в непосредственной близости от Земли, часто выводятся гравитационными силами на резонансные орбиты с периодами обращения, кратными периоду обращения Земли, в результате чего они могут периодически возвращаться в ее окрестности. Поэтому орбиту астероида нужно изменить так, чтобы не допустить его выхода на резонансную орбиту. Такое требование к точности воздействия – один из лучших доводов в пользу концепции космического буксира, который позволяет выполнять управляемые маневры, тогда как все другие методы изменения орбиты дают неконтролируемые изменения скорости.

Если удастся вывести на орбиту энергетическую установку и плазменный двигатель с помощью одного ракетоносителя, то стоимость проекта обойдется в $1 млрд., что составляет 0,5% ожидаемых расходов *NASA* за 10 лет.

Так стоит ли овчинка выделки? Хотя практическое использование системы отклонений траекторий астероидов потребуется крайне редко, она может оказаться бесценной. Столкновение астероида с Землей может быть столь разрушительным, что тут никаких денег не пожалеешь. Миссия *B612* покажет, осуществима ли концепция космического буксира, и если да, то какие понадобятся усовершенствования в случае возникновения реальной угрозы столкновения астероида с Землей. ■

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

• Rain of Iron and Ice: The Very Real Threat of Comet and Asteroid Bombardment. John S. Lewis. Perseus, 1997.

• Cosmic Pinball: The Science of Comets, Meteors and Asteroids. Carolyn Sumners and Carlton Allen, McGraw-Hill Trade, 1999.

• Report of the Workshop on Scientific Requirements for Mitigation of Hazardous Comets and Asteroids. Michael J.S. Belton. National Optical Astronomy Observatory, March 2003. Отчет доступен по адресу **www.noao.edu/meetings/mitigation/report.html**

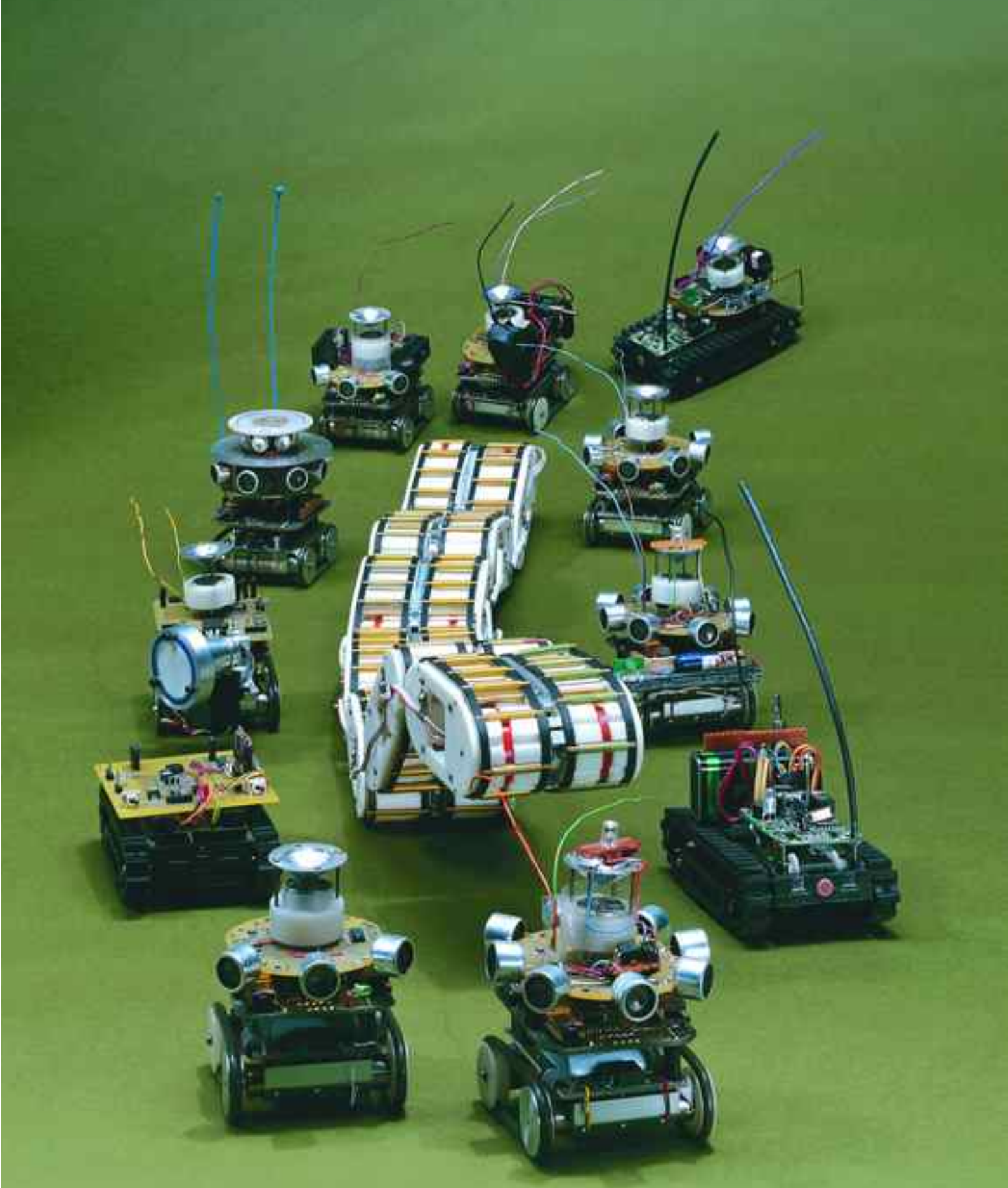
• Новые сообщения об околоземных объектах и потенциально опасных астероидах можно найти по адресам **neo.jpl.nasa.gov/neo/report.html**, **impact.arc.nasa.gov/** и **neo.jpl.nasa.gov/neo/pha.html**

• Чернявский Г.М., Чудецкий Ю.В. «Конверсия и некоторые задачи астероидной опасности» – Международная конференция «Астероидная опасность-93» 25–27 мая 1993 г. СПб: изд-во ИТА РАН, 1993 г., с. 99–100.

• Румынский А.Н., Сазонов В.С., Финченко В.С. «Разрушение опасных космических объектов с помощью взрыва». Международная конференция «Космическая защита Земли-2000», 11–15 сентября 2000 г., Евпатория, Крым, Украина.

• Симонов И.В. «О целесообразности использования космических техногенных отходов при уменьшении астероидно-космической опасности». Доклад ДАН РАН, №2, 1997 г., с. 196–199.

• Зайцев А.В. «Концептуальный проект системы планетарной защиты «Цитадель»». Международная конференция «Космическая защита-2000» 11–15 сентября 2000 г., Евпатория, Крым, Украина.



Слишком маленькие, чтобы сделать многое поодиночке, миллиботы работают сообща. Белый змееподобный механизм посередине – не что иное, как цепь из ботов, соединившихся вместе, чтобы вскарабкаться на ступень. Вокруг него – роботы, собранные каждый для своей задачи.

армия мини-роботов

Роберт Грабовски, Луис Наваро-Сермент, Прадип Хосла

Террористы ворвались в офисное здание и захватили заложников. Бандиты заблокировали входы, завесили окна – никому не узнать, сколько их там, как они вооружены и где содержат своих жертв. Внезапно отряд быстрого реагирования *SWAT* проник в помещение и обезоружил захватчиков. Откуда у бойцов спецназа появилась необходимая информация, чтобы действовать настолько уверенно и точно?

Секрет заключается в скоординированных действиях группы маленьких роботов, которые забрались в здание через систему вентиляции и методично продвигались вперед. Одни были оснащены микрофонами для записи разговоров, другие – портативными видеокамерами и воздушными детекторами химических и биологических примесей. Работая совместно, они тут же передавали информацию полиции.

Примерно такой сценарий развития событий был предложен в 1998 г. инженерам-робототехникам Управлением перспективных исследований и разработок министерства обороны США (*DARPA*). Была поставлена задача: спроектировать крохотные разведывательные аппараты, которые можно было бы раскидывать словно поп-корн. Пожарные и спасатели могли бы забрасывать подобные механизмы в окна для поиска пострадавших и обнаружения токсичных веществ. Вместо создания нескольких крупных платформ, напичканных сенсорами, ведущие разработчики занялись конструированием простых, маленьких и легких роботов.

В принципе, роботы-лилипуты имеют огромные преимущества перед своими большими собратьями. Они могут пробираться по трубам, обследовать разрушенные здания и прятаться в узких нишах. Хорошо организованная группа таких малюток может обмениваться сенсорной информацией об объекте, которую нельзя собрать из одной точки наблюдения, а также помогать друг другу преодолевать препятствия. В зависимости от ситуации численность группы может варьироваться. Если один из роботов выйдет из строя, задание не будет провалено, так как за дело возьмутся другие. Но миниатюризация предполагает особый подход к конструированию. Свободное место и лишний запас энергии становятся непозволительной роскошью: даже портативная видеокамера может оказаться слишком громоздкой ношей. Один мини-робот не в состоянии нести на себе все оборудование, необходимое для выполнения задания. Поэтому датчики, вычислительные и механические мощности должны быть распределены между членами группы, действующими согласованно. Такие роботы подобны муравьям: возможности каждого из них невелики, но они могут быть очень эффективны, действуя сообща.

Тараканы, мячи и консервные банки

Существует несколько подходов к проектированию роботов таких размеров, например, имитация животных и насекомых. Так, разработчики из Резервного университета Западного Кейса создали высокомобильную платформу, напоминающую таракана. Она оснащена гибридами колеса и ноги (колесоногами) для движения по неровной поверхности. Команда из Мичиганского университета в Анн Арбор предложила конструкцию двуногого робота с присосками на конечностях, позволяющими ему карабкаться по стенам.

Из биологии инженеры черпают не только внешний вид своих питомцев, но и системы управления ими. Сотрудники Массачусетского технологического института изобрели роботов размером с мяч для гольфа, которые ведут себя как муравьи. Они используют простые световые датчики для передачи друг другу своих «ощущений» и принятия коллективных решений. У истоков подобных исследований стоял известный в робототехнике ученый Родни Брукс (Rodney Brooks). Согласно его поведенческим алгоритмам управления, каждый робот реагирует на локальные раздражители. Нет ни централизованного плана действий, ни руководителя команды: поведение группы – результат взаимодействия индивидуальных особей. Однако некоторые задачи требуют такой согласованности планов и действий, которую, по крайней мере пока, независимое поведение роботов предоставить не может.

С более рациональным предложением выступили разработчики из Миннесотского университета штата. Они сконструировали разведывательные модули, забрасываемые в окна, словно гранаты. Эти двухколесные роботы, похожие на консервные банки, оснащены видеокамерами, помогающими оператору дистанционно управлять ими. Специалисты калифорнийской фирмы *PARC* (ранее известной как *Xerox PARC*) изобрели высокоподвижного робота-змею, управление которым ▸

MARK PORTLAND



Робот на ладони: Грабовски держит одного из миллиботов. Обычно их размер мал настолько, насколько позволяют комплектующие.

тоже осуществляется с помощью видеокамеры. Он буквально ползает через препятствия и внутри труб. Однако этим роботам пока недостает чувствительности, к тому же для принятия решений им необходим оператор.

За последние несколько лет лишь несколько моделей небольших роботов появились в продаже. Например, у разработчиков поведенческих алгоритмов управления большой популярностью пользуется робот *Khepera* размером с хоккейную шайбу. Фирма *Living Machines* выпускает крохотного программируемого робота *Pocket Bot*. Известная компания *Lego* выпускает комплекты *Mindstorm*, из которых можно собирать простейших управляемых роботов. Они уже используются в научных проектах и школьных конкурсах. Но чувствительность и управляемость коммерческих моделей, мягко говоря, оставляют желать лучшего и не позволяют всерьез говорить о выполнении сложных задач.

Недостаток энергии

Здесь, в Университете Карнеги-Меллона, основной упор при проектировании был сделан на гибкость архитектуры. Мы построили дюжину миллиботов, не больше 5 см каждый. Именно такие размеры позволяют использовать широкодоступные комплектующие. Нам пришлось разрабатывать только печатные платы и контроллеры. Каждый робот состоит из трех модулей: для движения, для управления и для восприятия. Модуль движения находится снизу. Два моторчика вращают гусеницы, сделанные из небольших резиновых колец. Последняя версия робота разгоняется до 20 см/с, что составляет 1/6 скорости прогулочного шага. Ходовая часть может быть легко заменена на более совершенную без переделки всего робота.

Средний модуль отвечает за обработку поступающих данных и управление. В основу современного прототипа положен 8-битный микроконтроллер – один из тех, что использовались в персональных компьютерах начала 80-х гг. Несравнимый с современными процессорами, он все же успешно управляет роботом в режиме реального времени. Сенсорный модуль, венчающий конструкцию, включает в себя акустический радар (сонар), инфракрасные датчики для измерения расстояний до препятствий и обнаружения теплых предметов, видеокамеру и радиомодем для связи с другими роботами и базой.

Пожалуй, самое серьезное ограничение на использование миниатюрных роботов накладывают элементы питания. Они громоздки и тяжелы: при уменьшении габаритов любая батарея достигает предела, при котором она не способна выработать достаточно энергии для перемещения собственного веса. Два никель-металлгидридных аккумулятора от сотового телефона занимают треть свободного места на наших миллиботах. Одной зарядки хватает, чтобы обеспечить энергией несколько датчиков на срок от 30 до 90 минут в зависимости от сложности выполняемой задачи. Батареи большей емкости позволят увеличить время работы, но сократят количество полезных компонент робота. Проектирование мини-роботов – это всегда поиск компромисса: скорость, функциональность и срок действия соперничают с весом, размерами и количеством оборудования.

Чтобы справиться с описанными ограничениями, мы придумали два правила конструирования миллиботов: разграничение специализации и совместную работу. Для оптимального использования имеющихся габаритов и питания робот оснащается только оборудованием, необходимым для выполнения конкретной задачи. Обычно одни роботы занимаются составлением карты местности, другие осуществляют связь с оператором или несут специфичное для данного случая оборудование. Чтобы выполнить миссию, роботы должны сотрудничать.

Где мы находимся?

Одна из первоочередных задач, требующих совместной работы, – определение местоположения группы. Большие роботы могут позволить себе использовать Глобальную систему позиционирования – *GPS*, набор маяков и визуальное распознавание. Более того, они обладают достаточной вычислительной мощностью, чтобы определять свое положение, сверяя сенсорную информацию с картой.

Ни один из перечисленных способов не подходит для маленьких роботов.

ОБЗОР: МИЛЛИБОТЫ

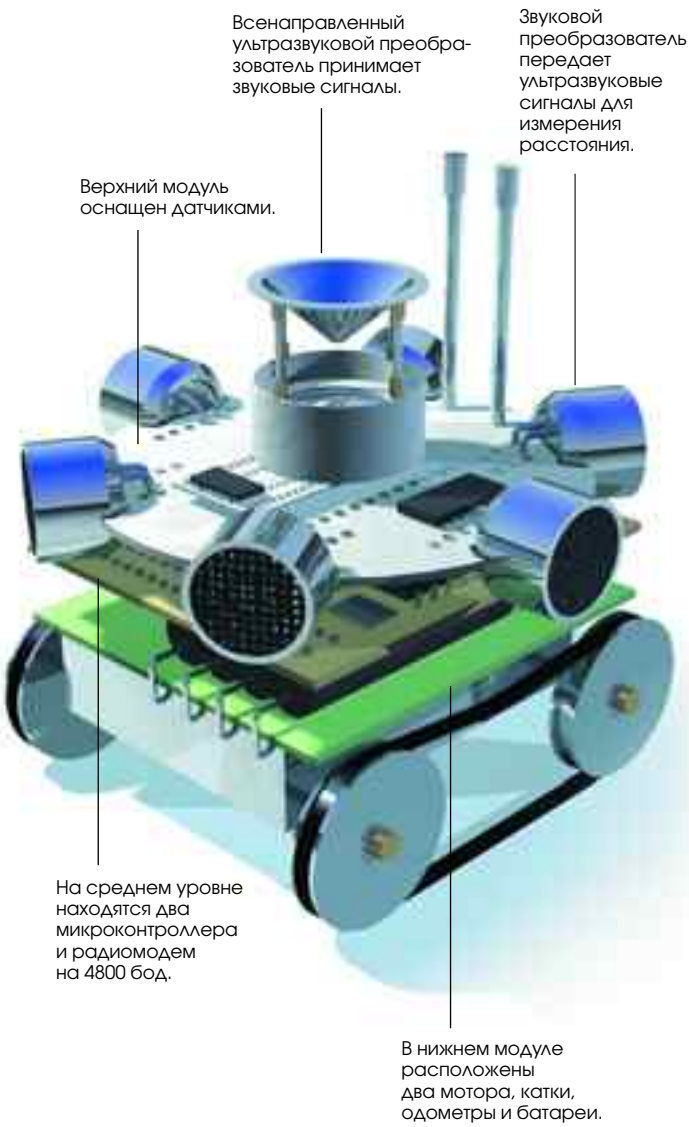
• Роботы-малютки размером с коллекционные машинки вскоре научатся пробираться по трубам и проникать в разрушенные здания – очень полезные навыки для шпионажа, исследований, наблюдения и поиска пострадавших.

• Ограниченные размерами и мощностью батарей, мини-роботы обладают скромными возможностями. У каждого из них своя специфика, поэтому им приходится работать сообща, что гораздо сложнее, чем может показаться. Специально для них инженеры разработали несколько новых методик, например, для определения местоположения и составления карты территории.

MARK PORTLAND

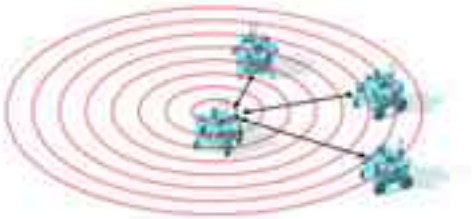
НАХОДЯЩИЕ СВОЙ ПУТЬ В ПРОСТРАНСТВЕ

Анатомия миллибота



Определение дислокации

Один из роботов одновременно посылает радио- и ультразвуковой сигналы. Другие получают радиоимпульс мгновенно, а звуковой сигнал несколько позже. Разница во времени прихода сигналов пропорциональна расстоянию.



Роботы по очереди посылают и принимают сигналы.



Компьютер использует вычисленные расстояния для определения положения каждого робота. Сложность в том, что зеркальное отражение координат дает такой же набор расстояний.

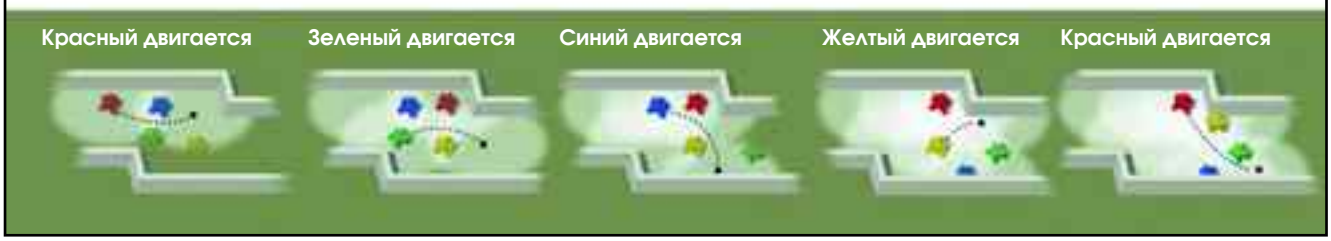


Чтобы избежать неоднозначности, один из роботов совершает поворот влево и измеряет свое новое положение, которое не совпадает с зеркальным отражением.



Способ построения карты

Используя друг друга в качестве контрольных точек, миллиботы могут ориентироваться в неразведанном пространстве. Три робота фиксируют свое местоположение и выступают в роли буев, а четвертый исследует территорию, используя сонар. Когда он заканчивает работу, аппараты меняются ролями. Продвинувшиеся вперед роботы становятся буями, а самый последний отправляется на разведку. Таким образом формируется карта неизвестной местности.



BRYAN CHRISTIE DESIGN

Дальность действия их датчиков не превышает 2 м. Они слишком малы, чтобы нести приемники *GPS*. Навигационное счисление пути, при котором для измерения расстояний отслеживается скорость колес, неприменимо из-за малого веса. Даже ничтожное усилие, необходимое, чтобы прорвать паутину, может так же исказить результаты измерений, как движение автомобиля по льду искажает показания одометра.

Таким образом, нам пришлось придумать новый метод – упрощенную версию *GPS*. Для измерения расстояния между роботами группы вместо спутников используются звуковые волны. Каждый робот периодически посылает радио- и ультразвуковой импульсы, распространяющиеся во всех направлениях. Остальные роботы принимают оба сигнала. Радиоволны, распространяясь со скоростью света, достигают приемников практически мгновенно. Звук же распространяется со скоростью около 340 м/с и прибывает на несколько миллисекунд позже в зависимости от расстояния между членами группы. Определение дистанции аналогично расчету расстояния до грозы на основании измеренной задержки между молнией и громом.

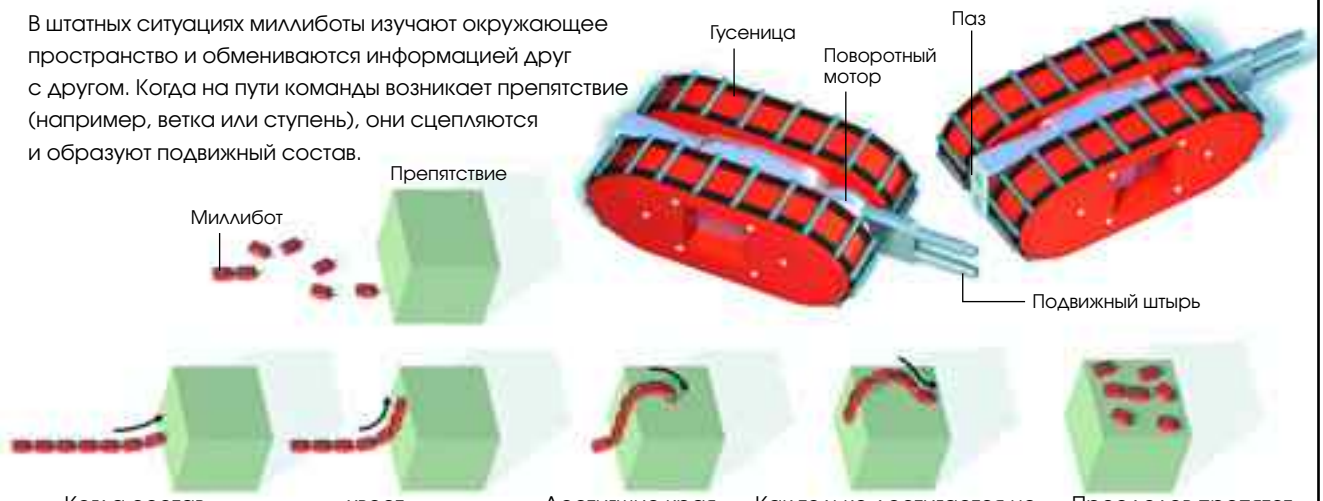
Поочередно передавая и принимая сигналы, роботы определяют расстояние между собой. Каждое измерение занимает около 30 мс. Вожак группы – база или более крупный робот, десантировавший весь отряд, – собирает информацию и вычисляет координаты миллиботов, используя метод трилатерации, напоминающий триангуляционную методику, но предполагающий использование расстояний вместо азимутов. На плоскости каждое измеренное расстояние определяет радиус окружности, центр которой совпадает с передатчиком. Точки пересечения двух и более окружностей указывают местонахождение роботов (см. рис. на стр. 39). Специальный алгоритм определяет такое взаимное расположение членов группы, которое наиболее соответствует измеренным расстояниям и пересечениям построенных окружностей.

Процедура осложняется тем, что полученным данным могут соответствовать несколько конфигураций взаимного расположения роботов. К тому же измерениям свойственны ошибки и погрешности. Отражаясь от пола и стен, ультразвуковые волны вносят неопределенность в вычисление расстояния. Интерференция переотраженных сигналов иногда приводит к их полному взаимному подавлению. Поэтому мы разработали алгоритм, сочетающий ультразвуковое измерение дистанции с навигационным счислением пути, которое, несмотря на свои недостатки, позволяет получить дополнительную информацию для разрешения неоднозначности вычислений. Программа оценивает ошибки измерений и определяет набор координат, характеризующийся минимальной погрешностью.

Главное достоинство данного метода заключается в том, что миллиботам не нужны фиксированные контрольные точки навигации. Они могут проникнуть в неразведанную местность и двигаться самостоятельно. Несколько ботов могут стать неподвижными маяками, по которым будут ориентироваться их коллеги, исследующие окружающее пространство. Когда роботы полностью обследуют помещение вокруг маяков, они

ЦЕПОЧКА ИЗ МИЛЛИБОТОВ

В штатных ситуациях миллиботы изучают окружающее пространство и обмениваются информацией друг с другом. Когда на пути команды возникает препятствие (например, ветка или ступень), они сцепляются и образуют подвижный состав.



Когда состав упирается в препятствие…

…«хвост» выталкивает «голову» вверх.

Достигшие края миллиботы опускаются на препятствие.

Как только достигается необходимый уровень сцепления с поверхностью, они поднимают оставшуюся внизу часть цепочки.

Преодолев препятствие, роботы разделяются и продолжают выполнять каждый свою работу.

BRYAN CHRISTIE DESIGN

меняются местами. Разведчики становятся маяками, а маяки начинают разведку. Такие действия напоминают чехарду и могут выполняться без участия человека (см. рис. на стр. 39).

Цепь инстанций

Есть и другая причина для сотрудничества. Из-за своих размеров маленькие роботы подвержены влиянию случайных факторов, которыми изобилует наша жизнь. Малютки должны уметь справляться с камнями, грязью, бумажками и прочим мусором. Дорожный просвет миллибота не превышает 15 мм, так что карандаш или ветка оказываются для него серьезным препятствием. Поэтому мы придумали особую модель ботов, которые могут соединяться как железнодорожные вагоны. Они похожи на миниатюрные танки времен Первой мировой войны, а их размеры составляют 11 см в длину и 6 см в ширину. В обычной ситуации такие аппараты движутся независимо и уверенно преодолевают небольшие преграды. Но когда команде необходимо переправиться через канаву или подняться по ступеням, миллиботы соединяются в цепочку (см. рис. на стр. 40).

Именно сцепка между соседними роботами помогает им преодолевать серьезные препятствия. В отличие от железнодорожного состава или автомобильного прицепа, цепь миллиботов обладает мощными моторчиками, которые способны развить достаточное усилие, чтобы поднять или опустить несколько ботов-звеньев. Забираясь на ступеньку, змейка из роботов упирается в ее основание, средние и задние звенья выталкивают «голову» состава вверх. Затем боты, уже совершившие восхождение, затаскивают за собой «хвост» (см. рис. на стр 40). Пока для управления процессом необходим оператор, но со временем связка сможет карабкаться самостоятельно.

Сегодня разработчики все больше внимания уделяют системе управления. Постепенно акцент смещается в сторону командования группами из сотен и тысяч ботов – фундаментально иной задачи, для решения которой потребуются знания в области экономики, военной стратегии и даже политологии.



Разработанный командой Миннесотского университета, «ТерминаторБот» (робот-разведчик) немного меньше пивной банки. У него есть две руки, с помощью которых он подтягивается, карабкается по ступеням и манипулирует предметами.

Одним из способов управления большими группами мы считаем иерархическую структуру. Как и в армии, роботы будут разделены на небольшие отряды, возглавляемые своими командирами. Уже сейчас миллиботы управляются более крупными роботами, процессоры которых в состоянии справиться с навигационными и геодезическими задачами. Большие аппараты могут тянуть за собой цепочку миллиботов и развертывать группу в нужном районе. Командиры отрядов, в свою очередь, подчиняются еще более крупным, вездеходным роботам, имеющим в своем распоряжении множество компьютеров, видеокамеры, *GPS*-приемники и приемо-передающую аппаратуру с дальностью действия до нескольких сотен километров. В недоступных местах мощные роботы будут десантировать своих мелких подчиненных и осуществлять их поддержку.

Хотя потенциал миллиботов велик, современные возможности заставляют относить их к разряду технических диковинок, в который десять лет назад входили сотовые телефоны и карманные компьютеры. Как только технология будет отработана в военных и специализированных проектах, популярность таких машин, несомненно, возрастет. Работая сообща, миллиботы реализуют полный набор функций, а модульность конструкции позволяет подстраивать их под конкретные задачи. ■

ОБ АВТОРАХ:

Роберт Грабовски (Robert Grabowski), **Луис Наваро-Сермент** (Luis E. Navarro-Serment) и **Прадип Хосла** (Pradeep Khosla) занялись разработкой миллиботов летом 1999 г. Профессор электронных и компьютерных наук Университета Карнеги-Меллона, Хосла стал известен благодаря разработке первых рук-манипуляторов с прямым управлением, которые используются почти на всех автоматизированных производствах. Грабовски и Наваро-Сермент аспиранты. Грабовски 8 лет служил в ВМФ США, работая на ядерных реакторах. Вся его жизнь была связанна с электроникой, и он до сих пор любит играть в *Lego* и разбирать старые видеомагнитофоны; одно время он возглавлял отдел электрических разработок Монтерейского технологического института в Гвадалахаре. Авторы благодарят своих коллег Криса Паредиса (Chris Paredis), Бена Брауна (Ben Brown) и Майка Вандеведжа (Mike VandeWeghe) за неоценимый вклад в разработку миллиботов.

RICHARD VOYLES *University of Minnesota*



будущее ТЕОРИИ СТРУН

Джордж Массер

Беседа с Брайаном Грини.

Словосочетание «теория струн» приводит людей в замешательство. Даже специалисты досадуют на ее сложность, тогда как другие физики посмеиваются над присущим ей дефицитом экспериментов и наблюдений. Остальная часть человечества относится к этой области науки с полным безразличием. Сначала ученые лишь рассуждали, поможет ли теория струн осуществить мечту Альберта Эйнштейна об окончательной единой теории поля и разобраться, почему существует Вселенная. Но к середине 1990-х гг. теория начала приобретать концептуальную целостность, что позволило сделать некоторые проверяемые (хотя и на пределе современных возможностей) предсказания.

У профессора Колумбийского университета Брайана Грини (Brian Greene) огромный опыт в популяризации теории струн. Его книга «Изящная Вселенная» (*The Elegant Universe*), выпущенная в 1999 г., заняла четвертое место в списке бестселлеров *the New York Times* и вышла в финал конкурса на Пулитцеровскую премию. Недавно Грини закончил работу над книгой о природе пространства и времени и сейчас ведет цикл передач *Nova* на *PBS*. Он любезно согласился побеседовать с редактором *Scientific American* Джорджем Массером за тарелкой похожего на струны спагетти. Здесь мы приводим сокращенную и отредактированную версию их разговора.

Scientific American (далее – **SA**): Когда речь заходит о теории струн и космологии, у многих наших читателей опускаются руки: «Ну, этого нам никогда не понять!» – восклицают они.

Брайан Грини (далее – **Б.Г.**): Я заметил, что люди испытывают некоторый страх перед столь серьезными темами. Однако у большинства моих собеседников интерес к фундаментальным проблемам настолько велик, что они стремятся разобраться в них гораздо глубже, чем в более доступных вещах.

SA: В книге «Изящная Вселенная» вы сначала излагаете общую физическую идею, а затем приводите ее более подробный вариант.

Б.Г.: Мне кажется, что это полезный прием, особенно в наиболее трудных разделах. У читателя появляется выбор: если общая идея – достаточный для вас уровень, то можете спокойно пропускать следующий материал; если нет – разбирайтесь с ним. Я люблю излагать вещи разными способами. Когда дело доходит до абстрактных понятий, желательно рассматривать их в разных аспектах. Ограничиваясь единственным путем, вы ставите под угрозу возможность совершить прорыв. Когда все рассматривают проблему с одной стороны, а вы подходите к ней совсем с другой, то вам непременно открывается нечто совершенно новое.

SA: Например?

Б.Г.: Взять хотя бы крупные достижения Эда Виттена (Ed Witten) из Института перспективных исследований в Принстоне. Образно говоря, он поднялся на гору, осмотрелся и вдруг увидел недостающие связующие элементы, ранее никем не замеченные. В результате ему удалось объединить пять вариантов теории струн, которые до этого считались совершенно различными. Вот и все: стоило посмотреть с другой точки зрения – бах! – и все получилось.

Именно так представляется мне фундаментальное открытие. Вселенная сама ведет нас к своим истинам, ибо именно они лежат в основе всего, что мы воспринимаем. Поэтому мы так или иначе движемся в одном направлении. Таким образом, от крупных достижений нас зачастую отделяет лишь небольшое изменение в реальном или математическом восприятии, соединяющее уже известные вещи иным способом.

SA: Как вы думаете, были бы сделаны подобные открытия без вмешательства гения?

Б.Г.: Трудно сказать. В случае теории струн я думаю, что да, потому что элементы головоломки действительно становились все более и более ясными. Возможно, открытие было бы сделано на 5–10 лет позже, но подозреваю, оно было неизбежно. Насчет общей теории относительности у меня нет однозначного ответа. Это настолько грандиозное, монументальное переосмысление понятий ▸

RANDY HARRIS

Часто от совершения грандиозного открытия нас отделяет лишь небольшое изменение восприятия задачи.

пространства, времени и тяготения, что для меня совершенно не ясно, как и когда оно произошло бы, если бы не Эйнштейн.

SA: А в теории струн есть подобные достижения?

Б.Г.: Я думаю, что мы все еще ожидаем великого озарения. Теория струн создавалась на базе многих менее глобальных концепций, которые, постепенно объединяясь, создавали фундамент внушительного теоретического здания. Но мы пока не знаем, в чем состоит идея, которая увенчает его. Когда нам удастся ее понять, она, словно маяк, осветит строение целиком, и тогда, я уверен, мы найдем ответы на до сих пор нерешенные вопросы.

SA: В общей теории относительности таким маяком стали принцип эквивалентности и общая ковариантность, в Стандартной модели – калибровочная инвариантность. В «Изящной Вселенной» вы предположили, что для теории струн им мог бы стать голографический принцип (см. статью Якоба Бекенштейна «Информация в голографической Вселенной», «В мире науки», №11/2003). Что вы думаете об этом сейчас?

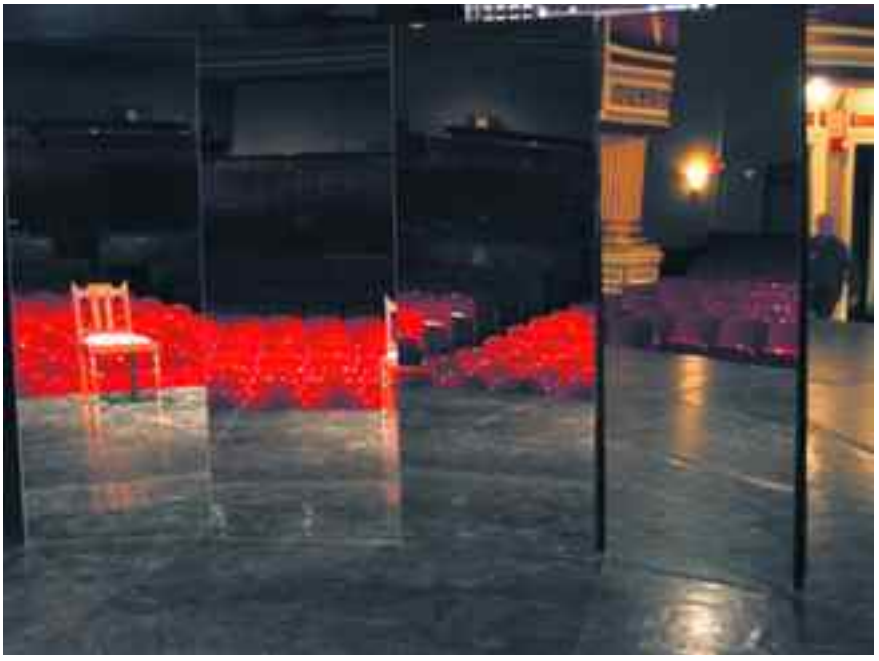
Б.Г.: За последние несколько лет голографический принцип был тщательно проработан. Когда он был предложен в середине 90-х гг. XX в., лежащие в его основе соображения были довольно абстрактными, недостаточно определенными и целиком основывались на свойствах сингулярностей: энтропия черной дыры расположена на ее поверхности; поэтому не исключено, что степени свободы также находятся на поверхности, может быть, это верно для всех областей, которые имеют горизонт событий; возможно, то же самое справедливо для космологических горизонтов; вполне вероятно, что мы живем в пределах космологической области, истинные степени свободы которой находятся чрезвычайно далеко. Удивительно странные идеи, свидетельства в пользу которых на тот момент были чрезвычайно скудны.

Положение изменилось с появлением работы Хуана Малдасены (Juan Maldacena) из Института перспективных исследований в Принстоне, где он в пределах теории струн показал, как физику в целом, которую мы рассматриваем как реальность, можно точно отобразить физикой на ограничивающей поверхности. Все эти описания одинаково верно отражают происходящие события, хотя в деталях могут значительно различаться. Одно может быть в пяти измерениях, другое – в четырех. Похоже, даже число измерений нельзя считать точкой опоры, ибо существуют альтернативные описания, так же точно отражающие наблюдаемую физику.

Таким образом, абстрактные идеи стали более конкретными, и это заставляет им доверять. Даже если в теории струн что-то изменится, мне, как и многим другим (хотя и не всем), кажется, что голографический принцип сохранится и будет направлять нас. Лично я сомневаюсь, что он станет тем самым маяком – скорее, важным шагом к нахождению сущности теории. Голографический принцип выходит за ее пределы, он просто несет в себе понятие об очень общей особенности мира, в котором существуют квантовая механика и гравитация.

SA: Давайте немного поговорим о петлевой квантовой гравитации и некоторых других подходах. Когда дело доходило до квантовой гравитации, вы всегда рассматривали теорию струн как единственный оптимальный подход. Вы по-прежнему так считаете?

Б.Г.: Я думаю, что это самый забавный подход! Справедливости ради нужно отметить, что сообщество энтузиастов петлевой квантовой гравитации достигло больших успехов. Разумеется, многие принципиальные вопросы по-прежнему остаются без ответов, которые меня бы удовлетворили. Тем не менее это жизнеспособный метод, и очень здорово, что многие



NOVA

чрезвычайно талантливые люди работают над ним. Я надеюсь – и в этом меня поддерживает Ли Смолин (Lee Smolin) из Института теоретической физики в Ватерлоо, Канада, – что в конечном счете мы развиваем одну и ту же теорию, но под разными углами зрения. Не исключено, что мы движемся к квантовой гравитации разными путями, но однажды обязательно встретимся. Ведь многие их сильные стороны – это наши слабости, и наоборот.

Одно из слабых мест теории струн – зависимость от среды, в которой она действует. Нам приходится принимать некоторое существующее пространство-время, в пределах которого движутся струны. Хотелось бы надеяться, что в законченной квантовой теории гравитации свойства пространства-времени будут выводиться из самих фундаментальных уравнений теории. А вот в петлевой квантовой теории гравитации имеется не зависящая от среды формулировка, в которой пространство-время полностью появляется непосредственно из теории. С другой стороны, у нас есть прямой контакт с общей теорией относительности Эйнштейна в случае больших масштабов, что следует из наших уравнений. Зато мы испытываем некоторые трудности при рассмотрении обычной гравитации. Поэтому естественно предположить, что в конечном итоге удастся объединить сильные стороны обоих направлений.

SA: Делались ли такие попытки?

Б.Г.: Пока без особого успеха. Далеко не многие одновременно хорошо разбираются в обеих теориях, на каждую из которых можно потратить целую жизнь, так и не поняв до конца. Однако ученые уже вступили в диалог и даже провели несколько совместных заседаний.

SA: Если имеется такая зависимость от среды, то есть ли надежда действительно понять глубинную сущность пространства и времени?

Б.Г.: Давайте немного упростим задачу. Например, зависимость от среды не помешала нам открыть зеркальную симметрию – могут быть два пространства-времени и одна физика. Мы познакомились с изменчивостью топологии – оказалось, что пространство может преобразовываться такими способами, которые прежде невозможно было даже представить. Выяснилось, что в микромире может править некоммутативная геометрия, в которой результат перемножения координат зависит от порядка следования сомножителей. Таким образом, можно получить отдельные элементы картины происходящего. Но я думаю, что без формальной независимости от среды соединить все части воедино на их собственной основе будет очень трудно.

SA: Смысл зеркальной симметрии чрезвычайно глубок, потому что она разделяет геометрию пространства-времени и физику, которые так стремился объединить Эйнштейн.

Б.Г.: Совершенно верно. Однако теперь она не разделяет их полностью, а просто говорит, что вам недостает половины предмета. Геометрия прочно связана с физикой, но это – отображение «два к одному». Это – не физика и геометрия отдельно. Это – физика и две геометрии, из которых вы можете выбирать. Иногда использование одной геометрии позволяет лучше понять задачу, чем применение другой. И снова речь идет о разных способах рассмотрения одной и той же физической системы: две различные геометрии и одна физика. Выяснилось, что существуют математические вопросы, касающиеся некоторых физических и геометрических систем, на которые невозможно ответить, используя только одну геометрию. Введение зеркальной геометрии, которая прежде не применялась, резко изменило ситуацию: сложные задачи после перевода на новый язык оказались поразительно простыми.

SA: Что же такое некоммутативная геометрия?

Общая теория относительности – это капитальное переосмысление свойств пространства и времени. Нам остается только ждать следующего озарения.

Б.Г.: Со времен Декарта точки обозначают координатами: на поверхности Земли – широтой и долготой, в трехмерном пространстве – тремя декартовыми координатами: x, y и z. Мы всегда считали их обычными числами, результат перемножения которых (операция, которую часто приходится производить в физике) не зависит от порядка следования множителей: 3, умноженное на 5, равно 5, умноженному на 3. Многое говорит о том, что пространственные координаты при очень малых масштабах не похожи на обычные тройки и пятерки, а образуют новый класс чисел, произведение которых зависит от порядка перемножения.

Впрочем, здесь нет ничего нового: нам давно известны матрицы, на результат перемножения которых влияет порядок следования сомножителей: A, умноженное на B, не равно B, умноженному на A, если A и B – матрицы. Теория струн указывает на то, что точки, описываемые отдельными числами, следует заменить геометрическими

Теоретически наша Вселенная может оказаться одной из многих.

объектами, описываемыми матрицами. При больших масштабах матрицы становятся все более диагональными, а на диагональные матрицы распространяется свойство коммутативности при умножении: не имеет значения, в каком порядке вы перемножаете диагональные матрицы. При погружении в микромир недиагональные элементы матриц увеличиваются и начинают играть все большую роль.

Некоммутативная геометрия – новая область геометрии, которая годами развивалась вдалеке от физики. Французский математик Ален Коннес (Alain Connes) написал книгу «Некоммутативная геометрия». Евклид, Гаусс, Риман и другие выдающиеся геометры работали в контексте коммутативной геометрии, а теперь Коннес и его соратники развивают совершенно новое направление.

SA: Мне трудно представить, что точки следует обозначать матрицами, а не просто числами.

Б.Г.: Видите ли, не существует никакого понятия точки. Точка – это приближение. Если есть точка, ее можно обозначить числом. Но дело в том, что в условиях малых масштабов язык точек становится плохим приближением, практически непригодным. Говоря о геометрических точках, мы, по сути, толкуем о том, как что-то может двигаться через них. В конечном счете существенно именно движение объектов, которое на деле оказывается более сложным, чем просто перемещение вперед и назад. Все эти движения охватываются матрицей. Вместо того чтобы отмечать объект точкой, через которую он проходит, необходимо обозначать его движение матрицей степеней свободы.

SA: Что вы думаете об антропной и мультивселенской концепциях? В «Изящной Вселенной» вы писали о них, когда рассуждали о том, имеется ли



NOVA

предел для объяснения явлений в теории струн.

Б.Г.: Я, как и многие другие, никогда не относился слишком серьезно ни к одной из антропных идей в основном потому, что, как мне кажется, в любой момент истории науки вы можете сказать: «Мы не можем идти дальше, а ответ на каждый до сих пор нерешенный вопрос таков: все так, как оно есть, потому что если бы это было не так, то не было бы нас, чтобы задать этот вопрос». Это похоже на неоправданную капитуляцию: ведь может оказаться, что от разгадки нас отделяют каких-нибудь пять лет кропотливой работы. Поэтому я считаю, что сдаваться ни в коем случае нельзя, даже несмотря на, казалось бы, проигрышную позицию.

Вместе с тем антропные идеи становятся все более проработанными. Выработаны конкретные предположения насчет того, как могут сосуществовать несколько различных вселенных. Вполне вероятно, что мы находимся в нашей Вселенной просто потому, что ее свойства пригодны для нашего существования. Возможно, в других вселенных мы бы элементарно не выжили. Заметьте, это не просто умственное упражнение.

SA: Теория струн и современная физика в целом, по-видимому, приближаются к единой логической структуре, которая должна быть такой, какая она есть; а теория – такой, какова она есть, потому что она не могла бы быть никакой другой. С одной стороны, это серьезный довод против антропного направления. Но с другой стороны, в вашей теории есть определенная гибкость, которая ведет к антропному подходу.

Б.Г.: Гибкость может быть, а может и не быть: возможно, она – лишь артефакт неполного понимания. Теория, вероятно, допускает существование множества различных миров, один из которых – наш, но не обязательно в чем-то очень особенный. Так что на самом деле есть стремление к достижению абсолютной, полной негибкости.



Так выглядело бы для вас пространство-время, если бы вы были струной: шесть дополнительных измерений свернуты в так называемую форму Калаби-Яу (*Calaby-Yau shape*).

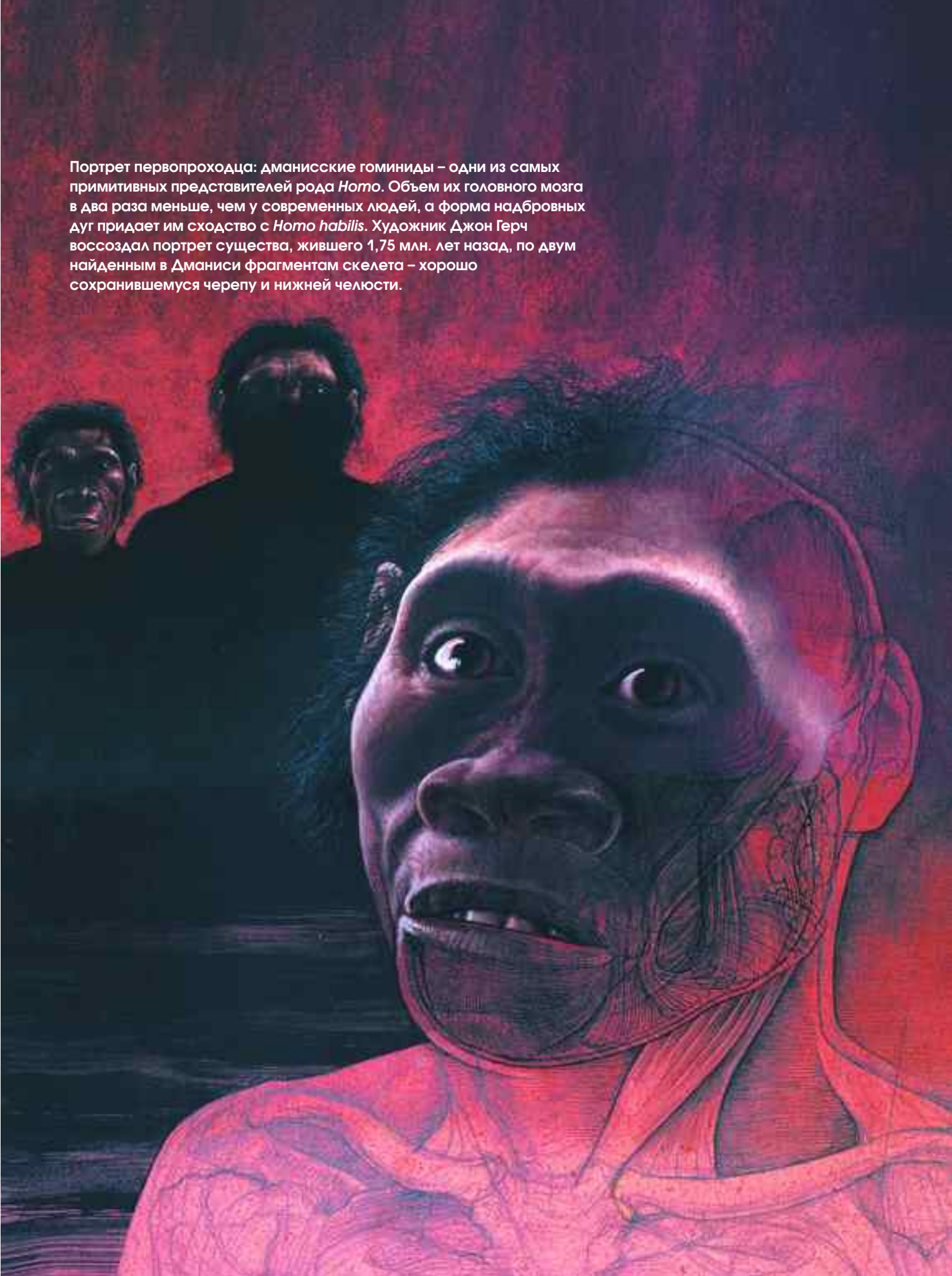
SA: Если бы у вас были аспиранты, ожидающие заданий, на что бы вы их направили?

Б.Г.: Главные вопросы – это те, которые мы обсуждали. Можем ли мы понять, откуда берутся пространство и время? Можем ли мы вывести фундаментальные концепции теории струн или М-теории? Можем ли мы показать, что из этих исходных идей следует уникальная теория с единственным решением, которое описывает наш мир? Возможно ли проверить эти теории с помощью астрономических наблюдений или экспериментов на ускорителях? Можем ли мы шагнуть еще дальше и понять, почему квантовая механика должна быть неотъемлемой частью мира? Какие фундаментальные положения – пространство, время, квантовая механика – действительно существенны, а требования скольких из них можно смягчить и все равно получить мир, похожий на наш?

Могла бы физика выбрать иной путь, который был бы экспериментально так же успешен, но полностью отличался от нашего? Я не знаю. Но думаю, что это – действительно интересный вопрос. Сколько из того, чему мы верим, действительно фундаментально и развивается по единственному пути, задаваемому экспериментальными данными и математической согласованностью? А сколько из этого могло бы идти и другим путем, но нам пришлось двигаться по одному из путей лишь потому, что мы открыли именно его? Могли бы существа на другой планете составить совершенно иной набор законов, которые работали бы точно так же, как наши? ■

Полная расшифровка стенограммы этой беседы с подробными комментариями обо всем – от телевидения до стрелы времени – доступна на **www.sciam.com**.

NOVA



Портрет первопроходца: дманисские гоминиды – одни из самых примитивных представителей рода *Homo*. Объем их головного мозга в два раза меньше, чем у современных людей, а форма надбровных дуг придает им сходство с *Homo habilis*. Художник Джон Герч воссоздал портрет существа, жившего 1,75 млн. лет назад, по двум найденным в Дманиси фрагментам скелета – хорошо сохранившемуся черепу и нижней челюсти.

первооткрыватели ЕВРАЗИИ

Кейт Вонг

Ошеломляющие ископаемые находки в Грузии опровергают устоявшиеся представления о том, как происходила эмиграция первых гоминид из Африки.

Сегодня, в век космических станций и глубоководных аппаратов, мы воспринимаем обуревающую людей «охоту к перемене мест» как нечто само собой разумеющееся. А между тем стремление переселяться в неведомые земли – отличительная черта человеческого рода: ни один другой вид приматов никогда не расселялся по земному шару более широко, чем люди. Впрочем, таким космополитом человек был не всегда. На протяжении большей части своей эволюции, насчитывающей около 7 млн. лет, гоминиды не отваживались покидать место своего появления на свет – Африку. Но пришло время, и наши предки почему-то отправились на поиск лучшей жизни на чужбине. Это событие открыло новую главу в истории человечества.

До недавнего времени ее содержание было надежно скрыто от взора исследователей в толще горных пород. На основании изучения разрозненных ископаемых человеческих останков, обнаруженных в Китае и на Яве, палеоантропологи пришли к заключению, что первое межконтинентальное путешествие совершил один из древнейших представителей человеческого рода, *H.erectus* («человек прямоходящий»), и произошло это чуть более 1 млн. лет назад. Длинноногий и «головастый», *H. erectus* отличался быстрой походкой, проворством и большой сообразительностью – качествами, необходимыми настоящему «первопроходцу». Более ранние гоминиды, включая и *H.habilis* («человека умелого»), и австралопитеков, имели небольшой головной мозг и были размером с современных шимпанзе.

Однако любопытно, что первые представители *H.erectus* (некоторые исследователи относят их к особому виду – *H. ergaster*) появились в Африке 1,9 млн. лет назад. Почему же они так долго «медлили с эмиграцией»? Ученые предположили, что проникновение людей в северные широты стало возможным лишь с появлением ручного рубила и других каменных орудий симметричной формы (технологические новшества ашельской культуры). Непонятно однако, какие еще операции могли выполнять древние люди с их помощью помимо рубки, резания и скобления, для которых они прежде использовали чопперы и прочие примитивные средства олдувайской культуры. Как бы там ни было, а самыми древними из найденных за пределами Африки инструментов до недавнего времени считались каменные ашельские орудия, обнаруженные близ поселка Убейдия в Израиле.

Мускулистый, смекалистый, вооруженный – именно таким долгое время представляли себе древнего человека-первопроходца и археологи, и голливудские режиссеры. Увы, прекрасно сохранившиеся ископаемые человеческие останки и каменные орудия, обнаруженные учеными за последние несколько лет неподалеку от г. Дманиси (Грузия), рисуют совершенно иной облик этого героя. Возраст дманисских находок составляет 1,75 млн. лет, т.е. они на полмиллиона лет старше, чем останки людей, обнаруженные в Убейдии. И ни в одном другом месте



JOHN GURCHE

СЮРПРИЗЫ ИЗ ПРОШЛОГО

«Ископаемая тройка» – наглядное свидетельство необычайной вариабельности *H.erectus*. Дманисским окаменелостям присущи анатомические особенности, свойственные *H.erectus*: хорошо развитый сагиттальный гребень, проходящий по срединной линии черепа, и узкий лоб. Но небольшие размеры головного мозга отличают их от типичного *H.erectus*. Особенно много примитивных черт обнаруживает принадлежавший подростку череп *D2700* (слева); он напоминает череп *Homo erectus* не только размерами, но и тонкими надбровными дугами и округлыми очертаниями затылка. По мнению некоторых ученых, дманисские ископаемые останки могут принадлежать особому виду *Homo*. Другие исследователи полагают, что обладателями этих костей могли быть два или даже несколько видов *Homo*. На такую мысль их наводит образец *D2600* – огромная нижняя челюсть, найденная в 2000 г. Своими крупными размерами она не соответствует ни одному из обнаруженных до сих пор черепов (нижняя челюсть *D2735* была найдена вместе с черепом *D2700*). Дманисские палеоантропологи считают, что все эти кости принадлежат *H.erectus*.



Древний *Homo* из Дманиси

планеты ученым не доводилось еще сталкиваться с таким обилием древних человеческих костей и инструментов, дающих уникальную возможность детально изучить жизнь далеких предков. Находки произвели настоящую сенсацию: и в анатомическом плане, и по уровню «технологических достижений» грузинские гоминиды оказались гораздо более примитивными существами, чем, по мнению ученых, должны были быть первые люди-колонизаторы. И с новой силой разгорелись споры о том, когда, как и почему начался исход древних людей из Африки.

Неудачный дебют

Тихий городок Дманиси находится в 85 км к юго-западу от Тбилиси и в 20 км к северу от государственной границы Грузии с Арменией. В Средние века Дманиси был одним из крупнейших населенных пунктов, через который пролегал древний Шелковый путь. Окрестности городка издавна привлекали внимание археологов: раскопки развалин средневекового замка начали проводиться здесь еще в 1930-е годы. А то, что раскопки в Дманиси могут иметь не только историческое значение, ученые поняли в 1983 г., когда в одной из ям, предназначенных для хранения зерна, палеонтолог Авесалом Векуа из Грузинской Академии наук нашел окаменелые останки давно вымершего носорога. Через год были обнаружены примитивные каменные орудия, а в 1991 г. исследователи наконец-то наткнулись на кость гоминида, лежавшую под скелетом саблезубой кошки.

Основываясь на возрасте окаменелостей животных, ученые оценили и возраст найденного фрагмента человеческого скелета – нижней челюсти *H. erectus*. Он составлял примерно 1,6 млн. лет. Таким образом, найденный фрагмент оказался самой древ-

GOURAM TSIBAKHASHVILI (*fossils*); CHRISTIAN SIDOR *New York College of Osteopathic Medicine* (*modern skull*)



ней из когда-либо обнаруженных за пределами Африки окаменелостей гоминид. Но когда немного позднее Давид Лордкипанидзе и Лео Габуниа (сотрудники Грузинской Академии наук) оказались в Германии и показали свою находку некоторым маститым участникам палеонтологического конгресса, их рассказ был встречен с большой долей скептицизма. Глядя на прекрасно сохранившуюся челюсть, у которой к тому же на месте были все зубы, «светила» не поверили словам грузинских исследователей о ее более чем почтенном возрасте. Многие решили, что ископаемый фрагмент принадлежит не *H. erectus*, а какому-то более позднему виду человека. Так, вместо того чтобы получить официальное признание со стороны элиты палеонтологического сообщества, дманисская челюсть отправилась на родину в качестве окаменелости сомнительного происхождения.

Не сломленные неудачей, грузинские ученые продолжили свои раскопки. В 1999 г. их упорство было вознаграждено: всего в нескольких метрах от того места, где была обнаружена нижняя челюсть, они нашли два черепа гоминид. Сообщение с их описанием появилось в журнале *Science*. «В тот год загремели фанфары», – вспоминает Д. Лордкипанидзе, один из руководителей раскопок. Найденные черепа указывали на близкое родство между гоминидами из Дманиси и африканским *H. erectus*. В отличие от других ранних видов *Homo* из Азии и Европы, обнаруживающих некоторые «региональные» особенности анатомии, черепа из Дманиси имеют явное сходство (проявляющееся, например, в форме надбровных дуг) с ранними африканскими представителями *Homo*.

К тому времени геологи установили, что возраст дманисских ископаемых

КАМЕННЫЕ ОРУДИЯ ГОМИНИД

До недавних пор ученые полагали, что древние люди смогли вырваться за пределы Африки только после того, как научились изготавливать каменные орудия симметричной формы – оббитые с двух сторон ручные рубила (справа). В Дманиси же были найдены только примитивные чопперы («ударники») – оббитые с одной стороны камни, изготавливать которые африканские гоминиды научились на 1 млн. лет раньше.



еще больше: они были найдены в отложениях, располагавшихся поверх толстого слоя вулканической горной породы, возраст которой, по данным радиометрического анализа, составляет 1,85 млн. лет. Кроме того, вместе с окаменелостями гоминид были найдены останки некоторых вымерших животных, чей возраст уже был известен ученым (так, например, грызун *Mimomys* жил на Земле только в интервале между 1,6 и 2,0 млн. лет назад).

Таким образом, новые ископаемые находки в Дманиси и результаты их датировки заставили ученых отодвинуть сроки колонизации гоминидами Евразии на несколько сотен тысяч лет назад. Кроме того, они опровергли теорию о том, что древние люди могли покинуть Африку только после появления ашельской технологии изготовления орудий: в Дманиси были найдены лишь примитивные олдувайские инструменты, изготовленные из местного сырья.

ОБЗОР: ПЕРВЫЕ КОЛОНИЗАТОРЫ ЕВРАЗИИ

• Согласно традиционным представлениям палеоантропологов, первые выходцы из Африки были высокими людьми с крупным головным мозгом, умевшие изготавливать сложные каменные орудия. Они вышли из Африки и отправились на север 1 млн лет назад.

• Недавние ископаемые находки в Грузии опровергают эти предположения. Возраст обнаруженных здесь окаменелостей гоминид на полмиллиона лет больше, чем возраст самых древних из известных до сих пор ископаемых остатков гоминид за пределами Африки.

• Находки вновь поднимают вопрос о причинах, побудивших древних людей покинуть свою историческую родину. Кроме того, они предоставляют ученым редкую возможность изучить жизнь целой популяции древнейших представителей рода *Homo*.

Новый вид человека?

Почтенный возраст грузинских гоминид и примитивность их орудий повергли многих палеоантропологов в состояние шока. Но Дманиси приготовил для них и другие сюрпризы. В июле 2002 г. Д. Лордкипанидзе сообщил, что возглавляемая им группа ученых обнаружила третий, почти целиком сохранившийся череп, принадлежавший, возможно, одному из самых примитивных из всех известных представителей *Homo*. Если объем первых двух черепов составлял 770 и 650

GOURAM TSIBAKHASHVILI

Мускулистые, смышленые, вооруженные каменными орудиями – такими виделись древние землепроходцы голливудским сценаристам и режиссерам.

куб. см, то вместимость третьего не превышала 600 куб. см, т. е. была примерно в два раза меньше, чем объем черепа современного человека, и значительно меньше, чем у *H. erectus*. Третий череп отличался от «типичного» черепа *H. erectus* и своей формой. Рядом признаков он напоминал череп предполагаемого предка *H. erectus* – *H. habilis*.

Грузинские гоминиды были ненамного больше *H. habilis*. Пока что обнаружены лишь некоторые элементы верхней части скелета: ребра, ключицы, позвонки, некоторые кости рук и стоп. Но и этот материал позволяет с определенностью заявить, что ископаемые дманисские люди были совсем небольшими существами.

«Палеоантропологам впервые удалось обнаружить переходную форму между *erectus* и *habilis*», – замечает Лордкипанидзе. Хотя на основании ряда характерных особенностей ученые решили квалифицировать найденные кости как фрагменты скелета *H. erectus*, Лордкипанидзе полагает, что популяция древних людей из Дманиси вполне может рассматриваться как «основательница» некоего нового вида гоминид – недостающего промежуточного звена между *H. erectus* и *H. habilis*.

Впрочем, другие исследователи предлагают более сложную таксономическую схему. Отмечая значительную анатомическую вариабельность найденных черепов и нижних челюстей, Джеффри Шварц (Jeffry Schwartz) из Питтсбургского университета полагает, что дманисские окаменелости принадлежат двум или даже нескольким видам древних людей. А по мнению

ИСХОД ИЗ АФРИКИ



РАСКОПКИ В ДМАНИСИ

ДМАНИСИ, ГРУЗИЯ, ИЮЛЬ. Поселок Дманиси находится в двух часах езды от Тбилиси, а кажется, что от шума и смога грузинской столицы его отделяют многие тысячи километров и лет. Здесь, на низких склонах Кавказских гор, запряженные в повозку ослы встречаются чаще, чем автомобили, а прозрачный воздух благоухает сеном. Местные жители обрабатывают плодородную землю и выращивают овец, свиней и коз, а их дети целыми днями гоняются на самодельных самокатах по пыльным проселкам.

А ведь всего несколько столетий назад Дманиси был сильным и многолюдным городом, раскинувшимся на пересечении важных торговых путей из Византии и Персии. Его окрестности и поныне изобилуют напоминаниями о славном историческом прошлом. Невысокие насыпи, издали похожие на стога сена, при ближайшем рассмотрении оказываются мусульманскими гробницами, после сильных ливней на горных склонах обнажаются средневековые захоронения христиан, а над всем этим возвышаются величественные развалины старинного замка, со стен которого некогда можно было обозревать древний Шелковый путь.

Об этом периоде в истории Дманиси прекрасно знали многие археологи и историки. Но лишь сравнительно недавно ученым стало известно о том, что задолго до того, как город пережил свой расцвет и упадок, на его месте существовало поселение примитивных предков современных



ОСТАТКИ БЫЛОГО ВЕЛИЧИЯ: Раскопки средневекового замка в Дманиси привели к открытию гораздо более древних свидетельств присутствия человека. К настоящему времени ученые «освоили» лишь небольшой клочок земли площадью 100 кв. м, а общие размеры интересующего их участка составляют 11 тыс. кв. м.

GOURAM TSIBAKHASHVILI

людей. Вполне возможно, что это были первые представители человеческого рода, которые выбрались за пределы Африки и принялись колонизировать прочие территории Старого Света. Не исключено также, что событие произошло 1,75 млн. лет тому назад, гораздо раньше, чем считалось до сих пор. Чуть более 10 лет назад в Дманиси палеонтологи извлекли из земли первую кость ископаемого человека. Был среди них и Давид Лордкипанидзе, 40-летний ученый – директор Грузинского государственного музея и руководитель самых впечатляющих раскопок в истории палеоантропологии последнего времени. Неудивительно, ведь исследователям уже удалось обнаружить четыре черепа гоминид, 2000 каменных орудий и несколько тысяч ископаемых фрагментов древних животных.

Сегодня в раскопках принимают участие 30 ученых и студентов из разных стран мира. Некоторые из них ежегодно приезжают в Дманиси только на сезон полевых работ. Каждое лето в течение восьми недель дманисская команда обследует местность, извлекает из земли окаменелости и тщательно изучает новые находки. Раскопки ведутся на нищенские средства.

После завтрака, состоящего из куска хлеба и кружки чая, они залезают в кузов военного грузовика, который отвозит их к месту работы. На главном участке раскопок – в квадрате размером 20 3 20 м – каждый исследователь занимается своим пятачком земли площадью в 1 кв. м, скрупулезно регистрируя расположение и глубину залегания каждой обнаруженной кости и артефакта. Все находки снабжаются этикетками и тщательно упаковываются. Для последующего изучения собирается даже почва с галькой: после ее промывки и просеивания могут быть обнаружены раковины, мелкие фрагменты костей млекопитающих и другие важные материалы.

У всех «охотников за ископаемыми» приподнятое настроение. Накануне они весь день просидели дома из-за дождя, но сегодня утром туман, окутывавший горы, окончательно рассеялся и на металлических поверхностях лопат, долот и молотков заиграли солнечные блики. Работа продвигается медленно: сейчас ученые ведут раскопки в плотном верхнем слое породы, который расстается со своими сокровищами очень неохотно. Исследователи предпринимают все меры предосторожности, чтобы случайно не повредить выкапываемые предметы: при последующем анализе свежие царапины на них могут быть приняты за древние отметины. Около полудня работа приостанавливается и все отправляются на обед (помидоры, огурцы, хлеб, яйца вкрутую и соленый домашний сыр), а потом – короткий отдых на траве.

Тем временем в наспех оборудованной лаборатории позади лагеря другие участники экспедиции занимаются



С помощью специальных долот и щеток ученые осторожно извлекают из горной породы каменные орудия и раздробленные кости животных.

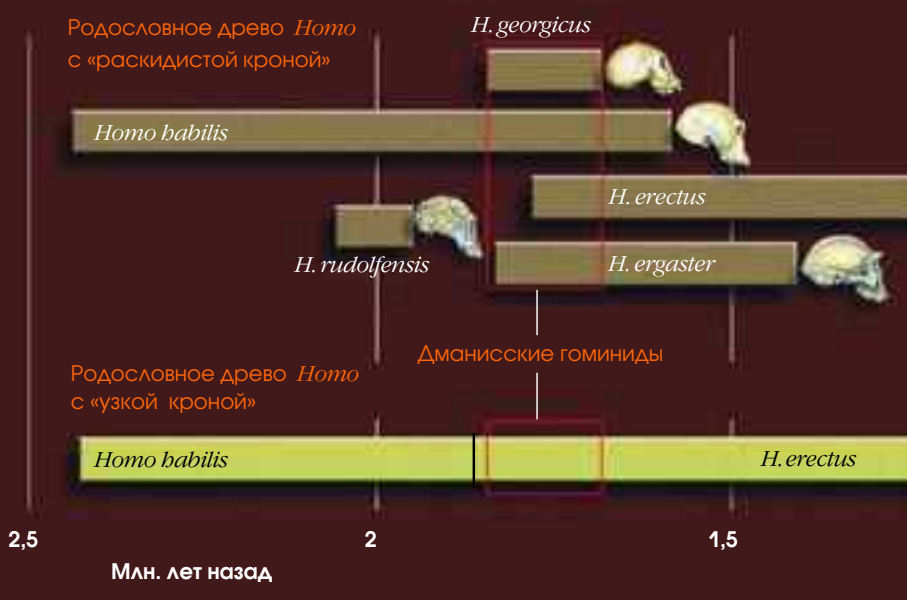
сортировкой ископаемого материала, добытого в предыдущие дни. Они определяют, каким видам животных принадлежат окаменелые кости, и тщательно изучают имеющиеся на них царапины, трещины и отметины от зубов. Быть может, благодаря этим дефектам ученые установят, откуда появились скопления костей. Как показывают предварительные данные, кости в изучаемом квадрате раскопок принадлежали жертвам саблезубых кошек, а скопления раздробленных костей метрах в ста от этого места – дело рук человеческих.

У Давида Лордкипанидзе работа отнимает все время. На месте сегодняшних раскопок он мечтает открыть полевую школу, где могли бы набираться опыта подающие надежды молодые археологи и антропологи. А в ближайшие планы ученого входит изучение других мест в окрестностях Дманиси на предмет присутствия ископаемых человеческих останков. Не исключено, что свои главные сюрпризы грузинские недра приберегли на будущее.

MARC MEYER University of Pennsylvania

РОДОСЛОВНОЕ ДРЕВО ЧЕЛОВЕКА

НОВЫЙ ВИД ЧЕЛОВЕКА? Ученые продолжают спорить о том, какое число видов включает род *Homo*. По мнению одних, ветвь *Homo* родословного древа семейства гоминид насчитывает до 8 видов; некоторые из них оказались «тупиковыми» эволюционными формами (вверху). Другие изображают эволюцию *Homo* в виде последовательной смены всего 3–4 видов (внизу). Ископаемые останки из Дманиси – приписываемые разными учеными *H.habilis*, *H.erectus*, *H. ergaster* или даже новому виду *H.georgicus* – подтверждают гипотезу о значительном видовом разнообразии гоминид. С другой стороны, сильные анатомические различия могут свидетельствовать о значительном разнообразии внутри одного вида.



Почтенный возраст грузинских гоминид и примитивность их орудий повергли палеоантропологов в состояние шока.

Милфорда Уолпоффа (Milford H. Wolpoff) из Мичиганского университета, массивная нижняя челюсть принадлежала мужчине, а остальные кости – женщинам.

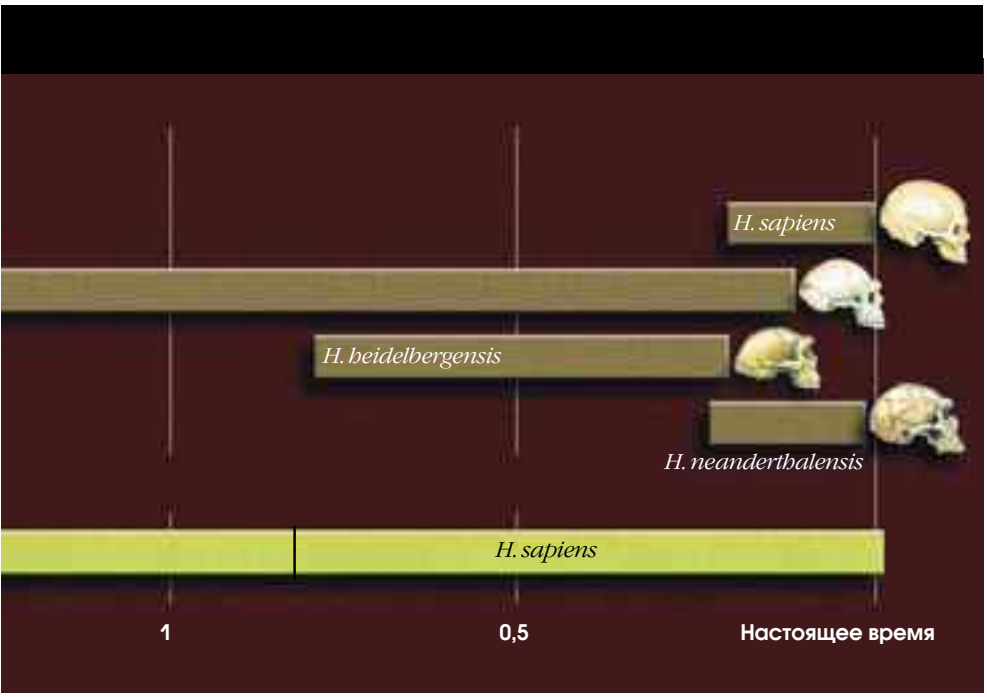
Массивная нижняя челюсть стала головной болью и для самого Лордкипанидзе. Учитывая, что все ископаемые фрагменты были обнаружены в одном стратиграфическом слое, ученый все-таки полагает, что они принадлежат одной и той же популяции *H. erectus*. «Быть может, важнейшее значение дманисских находок, – говорит Лордкипанидзе, – заключается в том, что они дают нам представление о масштабах изменчивости *H. erectus*». Прежде многие палеоантропологи попросту недооценивали вариабельность этого вида. По мнению ученого, когда ситуация с грузинскими гоминидами окончательно прояснится, потребуется переоценка половой и видовой принадлежностей и многих ископаемых останков древних людей, найденных в Африке. Не исключено, что на повестку дня вновь встанет вопрос о предках современного человека. «Возможно, что «человек умелый» – совсем и не *Homo*», – размышляет Лордкипанидзе. В конце концов, некоторые специалисты склонны рассматривать его скорее как один из видов *Australopithecus*, чем *Homo*.

Жизнь на чужбине

Каким бы образом ни происходила эмиграция гоминид из Африки, нетрудно догадаться, почему они решили обосноваться в южной части современной Грузии. Во-первых, мягкий средиземноморский климат этой местности, омываемой на западе теплыми водами Черного, а на востоке – Каспийского моря. Во-вторых, невероятное экологическое разнообразие. Найденные ископаемые остатки лесных животных (например, оленей) и обитателей степей (лошадей) свидетельствуют о том, что в те далекие времена этот уголок планеты представлял собой настоящую мозаику из лесных и саванных местообитаний. «Если условия жизни в каком-нибудь месте становились слишком суровыми, гоминидам не нужно было отправляться в далекое странствие в поисках более благоприятной обстановки», – говорит один из участников раскопок, Рейд Ферринг (Reid Ferring) из Университета Северного Техаса. А окрестности Дманиси, расположенного на месте слияния двух рек, показались гоминидам особенно привлекательными благодаря близости пресной воды, которой они всегда могли утолить жажду и которая изобиловала съедобной живностью.

«В биологическом отношении место тоже было необычным», – объясняет Марта Таппен (Martha Tappen) из Миннесотского университета. Многие из нескольких тысяч ископаемых фрагментов млекопитающих, которые

EDWARD BELL (*top*). CORNELIA BLIK, PATRICIA J. WYNNE AND EDWARD BELL (*bottom*)



ученые откопали вместе с останками гоминид, принадлежали крупным хищникам (саблезубым кошкам, леопардам, медведям, гиенам и волкам). Таппен предполагает, что животные использовали этот участок суши, с двух сторон ограниченный водой, в качестве ловушки для своих жертв. «Однако служил ли он той же целью и гоминидам, неизвестно», – добавляет исследовательница.

Обнаруженные учеными кости животных с резаными отметинами говорят о том, что древние обитатели Дманиси хотя бы изредка ели мясо. Неясным остается одно: охотились ли они на животных сами или же доедали остатки добычи хищников? Ответить на вопрос позволит лишь дальнейший анализ костей млекопитающих, обитавших в этом месте. Таппен склонна считать, что гоминиды были охотниками. Хотя готова предположить, что и сами они могли служить добычей хищникам. Красноречивые колотые раны на одном из черепов и резаные отметины на массивной нижней челюсти наводят на мысль, что некоторые гоминиды доисторического Дманиси расставались с жизнью в когтях кровожадных хищников из семейства кошачьих.

Некоторые перспективы

Обнаруженные в Грузии ископаемые останки гоминид свидетельствуют о том, что древнейшие люди начали покидать Африку вскоре после того, как 1,9 млн. лет назад на Земле появился *Homo erectus*. Однако вопрос о том, куда лежал путь древних путешественников, остается загадкой. Возраст самых древних (после Дманиси) мест нахождения ископаемых остатков гоминид в Азии составляет чуть более 1 млн. лет, а в Европе – 800 тыс. лет (принадлежность гоминидам окаменелых костей, обнаруженных в ряде мест на о. Ява возрастом 1,8 млн. лет, подвергается сегодня сомнениям). Благодаря своим анатомическим признакам дманисский человек вполне может быть предком более позднего азиатского *H.erectus*. Не исключено, однако, что эти гоминиды оказались «тупиковой ветвью» человеческой эволюции – своего рода «гребнем волны», выплеснувшейся из Африки лишь на незначительную часть территории Евразии. Ученые считают, что волны эмиграции первобытных людей из Африки поднимались не раз. «Дманиси – всего лишь небольшой эпизод в истории наших предков, – говорит Лордкипанидзе. – А о том, что происходило до или после него, остается только догадываться».

По сути дела, ученые едва приступили к исследованию дманисских «бездн». Все обнаруженные до сих пор окаменелости были найдены на небольшом участке гораздо более обширной, по оценке специалистов, области поселения гоминид. Исследователи не успевают описывать извлекаемые из земли кости: так, и по сей день не завершено изучение четвертого черепа, откопанного в 2002 г. Самая заветная мечта «охотников за ископаемыми» – найти бедренные и тазовые кости древних обитателей Дманиси: они позволили бы палеонтологам судить о пропорциях тела этих существ и о том, насколько эффективно они преодолевали далекие расстояния. Мало сомнений в том, что рано или поздно кости будут обнаружены. Окаменелостей здесь столько, что их можно вывозить грузовиками. «Работы хватит на несколько поколений ученых», – восклицает Лордкипанидзе, убежденный в том, что через несколько десятилетий на месте раскопок будут работать его внуки. Но кто знает, какие к тому времени им предстоит решать научные проблемы? ■

ОБ АВТОРЕ:

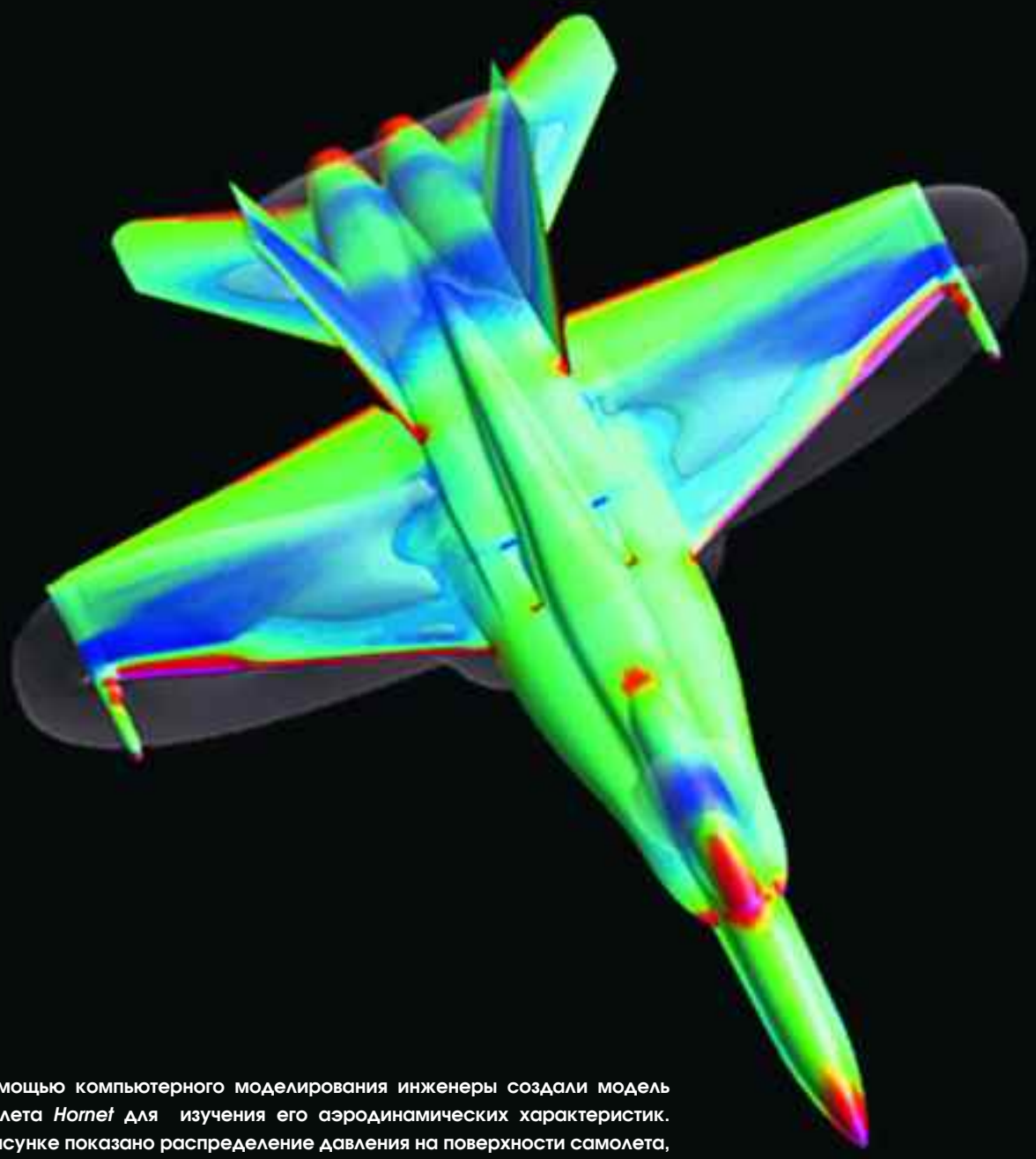
Кейт Вонг – писатель и редактор *Scientific American*.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

• The Human Career: Human Biological and Cultural Origins. Second edition. Richard G. Klein. University of Chicago Press, 1999.

гибкие крылья

Стивен Эшли



С помощью компьютерного моделирования инженеры создали модель самолета *Hornet* для изучения его аэродинамических характеристик. На рисунке показано распределение давления на поверхности самолета, если отклонение переднего закрылка составляет 10° на высоте полета 3 км со скоростью 0,9 Маха. Более яркими тонами обозначены участки повышенного давления на поверхности летательного аппарата. В зонах, отмеченных полутонами, скорость воздушного потока составляет 1 Мах.

RICHARD SNYDER Wright-Patterson Air Force Base AFRL

Самолет будущего будет летать как птица, изменяя геометрию крыла в зависимости от условий среды.

Крылья самолетов соединяются с фюзеляжем под фиксированным углом, обладают достаточной жесткостью, имеют малую амплитуду отклонения. Однако в будущем конструкция крыла станет иной. В зависимости от условий полета в так называемых трансформируемых крыльях изменятся форма и структура поверхности. Подобно птицам, управляющим полетом при помощи крыльев, хвоста и перьев, боевые самолеты следующего поколения смогут, разворачивая их в длину, часами парить над целью и, сложив крылья, устремляться вниз, атакуя противника. А в пассажирском самолете за счет изменения формы крыла уменьшится расход топлива и увеличится скорость полета.

Летательные аппараты с гибкими трансформируемыми крыльями – дело далекого будущего, поскольку еще не разработаны необходимые материалы и механизмы. Сейчас проходят испытания только прототипы таких самолетов. Повышение гибкости трансформируемого крыла становится наиболее перспективным решением, позволяющим совершенствовать конструкцию воздушных судов и уменьшить их размер и вес, улучшая тем самым условия полетного режима.

Назад в будущее

Каждый начинающий велосипедист знает: чтобы сохранить равновесие, необходимо удерживать транспортное средство в вертикальном положении. Такого же правила придерживались пилоты на заре авиации. Братья Райт (Wright) понимали, что главная задача – научиться управлять креном самолета в воздухе. Для того чтобы пилот мог выбрать верную траекторию полета и плавно войти в поворот, необходимо создать элементы управления вращением самолета вокруг продольной оси. В 1900 г. Вилбо Райт (Wilbur) говорил, что стабильность самолета, нарушенную порывом ветра, можно восстановить, отклонив переднюю кромку крыла, так как при таком маневре меняются угол атаки набегающего воздушного потока и подъемная сила крыла. Как велосипедисту для сохранения равновесия необходимо переместить центр тяжести, так же и самолету для обретения устойчивости в воздухе важно управлять подъемной силой на каждом крыле. Вилбо создал такой механизм.

Братья Райт управляли своим первым самолетом с помощью устройства, обеспечивающего крутку крыла. С увеличением скорости полета жесткость конструкции крыла увеличивалась, и для управления полетом были созданы элероны, закрылки и предкрылки, позволяющие изменять подъемную силу и контролировать крен самолета. Только в легких летательных аппаратах (таких как *Albatross*, перелетевший через Ла-Манш в 1979 г.) продолжали использовать технологию гибкого крыла.

Спустя десятилетия после начала полетов инженеры старались увеличить жесткость несущей аэродинамической поверхности, и на то у них были веские основания: возрастание скорости вызывало отклонения крыла с большой амплитудой колебаний, приводящее к снижению летных характеристик самолета. «Если на малых скоростях колебания крыла ухудшают управляемость самолетом, то на больших ведут к тому, что команды пилота будут выполняться самолетом в точности наоборот», – считает специалист компании *Boeing* Джеймс Гаффи (James Guffey). При воздействии воздушного потока на гибкое крыло меняется его геометрия и затрудняется процесс управления самолетом, поэтому на современных самолетах крылья жесткие. По сути, длинное тонкое крыло легче и обладает хорошими аэродинамическими характеристиками, но в нем возникают большие внутренние нагрузки.

Аэроупругие крылья

Современное понимание законов аэродинамики, применение новейших материалов и электронных систем заставило инженеров по-другому взглянуть на использование аэроупругих крыльев в авиации. Команда исследователей модифицировала истребитель-бомбардировщик *F/A-18A* и создала первый самолет с аэроупругими крыльями. В 2002 г. проводились испытания этой машины в штате Калифорния. В ближайшие годы предполагается изучить влияние передних закрылков на геометрию крыла и управляемость самолета в воздухе. По мнению ученых, это конструктивное новшество позволит улучшить аэродинамические характеристики планера. В проекте «Активное аэроупругое крыло» (*Active Aeroelastic Wing*, *AAW*) стоимостью в $45 млн. участвуют Военно-морской флот США, Исследовательская лаборатория ВВС США.

Оставаясь гибкими

25 лет назад, когда проводились первые испытания экспериментального образца самолета *F/A-18* или *Hornet*, гибкое крыло затрудняло управление в полете, а также снижалась и эффективность работы элеронов. «Проблема возникла тогда, когда в конструкции крыла стали использовать элементы, изготовленные из легких композитных материалов. Инженеры не имели достаточного опыта использования таких материалов», – рассказал Дэвид Райли (David Riley), куратор проекта «Активное аэроупругое крыло» в компании *Boeing*, пришедший на смену Гаффи.

Первый вариант крыльев, созданных для *Hornet* 25 лет назад, был отправлен на склад. Им на смену были

созданы крылья с более прочными нервюрами и обшивкой. Утяжеление элементов конструкций ухудшило летные характеристики прототипа, что заставило конструкторов изменить хвостовое оперение.

Участники проекта *AAW* постарались извлечь пользу из прежних недостатков. Первоначальный вариант крыльев истребителя *F/A-18*, сохранившихся на складах Военно-морского флота США, а также данные о результатах испытаний были переданы группе исследователей. Кроме того, у палубного *F/A-18A* были складывающиеся крылья, позволявшие на авианосцах размещать большее число истребителей. Предкрылок данной модели состоял из двух частей: внутренней и наружной. Хотя в стандартном варианте они функционируют согласованно, инженерам не представляло большого труда сделать их работу независимой друг от друга, что и требовалось для эксперимента.

В 1984–1988 гг. были проведены испытания прототипа нового самолета в аэродинамической трубе. Результаты экспериментов показали, что, во-первых, жесткое крыло тяжелее аэроупругого, во-вторых, что гибкое крыло создает изменение по крену и большую площадь поверхности, отклоняющей воздушный поток, чем обычные элероны. Новые модели крыльев будут иметь меньше подвижных компонентов, что сделает их тоньше и легче. Улучшение аэродинамических характеристик увеличит дальность полета, полезную нагрузку и уменьшит расход топлива. Во время выполнения маневров выяснилось, что крылья *AAW* испытывают меньшую нагрузку, чем ожидалось.



Эластичные крылья самолета братьев Райт создавали дополнительную подъемную силу и стабилизировали его по крену. Эта технология использовалась при невысокой скорости летательного аппарата. Новые скоростные режимы потребовали увеличения жесткости крыла.

Исследователи полагают, что за счет передачи крылу функций хвостового оперения самолета уменьшится аэродинамическое сопротивление и отражение радиоволн. Кроме того, можно добиться снижения веса околозвуковых летательных аппаратов на 7–10%, сверхзвуковых – на 18%.

Танцуем твист

Первому полету нового *Hornet* предшествовали три года кропотливой работы и наземные испытания в Летно-испытательном центре *NASA* им. Драйдена. Специалисты *Boeing* модифицировали крыло экспериментального истребителя *F/A-18*: были добавлены средства механизации, в передней части установлен многосекционный предкрылок, обшивка стала тоньше, и в нее были вмонтированы датчики для измерения нагрузки. Эти изменения обеспечили угол крутки внешних панелей до 5°. По мнению Гаффи, нагрузки должны фиксироваться и гаситься очень быстро, для чего крылья и фюзеляж оборудованы двумя сотнями датчиков. Контроль над закрылками, элеронами и другими управляющими поверхностями даст возможность перераспределить нагрузки (если их не уменьшать, то конструкция разрушится вследствие усталости материала) и избежать разрушения крыла.

Закончившиеся в 2003 г. испытательные полеты позволили собрать предварительные данные, на основе которых разработаны аэроупругие крылья, рассказывает сотрудник *NASA* Ларри Майерс (Larry Myers), принимающий участие в проекте *AAW*. Исследователи оценивали состояние крыла при разных углах отклонения: например, передние закрылки отклонялись на 3° вверх и вниз, а летчики-испытатели совершали головокружительные маневры, проверяя новые технологии в действии.

Полученные данные по нагрузкам и маневренности позволят создать математическую модель полета самолета с аэ-

ОБЗОР: ТРАНСФОРМИРУЕМЫЕ КРЫЛЬЯ

- Наблюдая за птицами, изменяющими форму крыла в полете, Братья Райт создали конструкцию крыла с изменяющейся подъемной силой, что обеспечивало управление креном самолета.
- По мере увеличения скорости возрастала жесткость крыла, и для управления креном были созданы элероны.
- Сегодня инженеры изучают, каким образом легкие гибкие крылья могут улучшить летные характеристики. В будущем крыло воздушного судна будет менять форму в зависимости от условий полета.

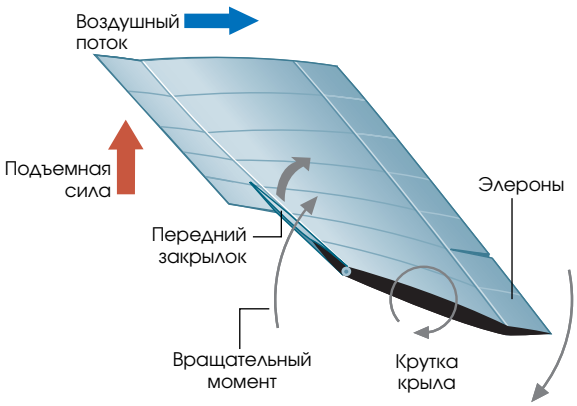
BETTMANN/CORBIS

ГИБКИЙ ПОДХОД К ПОЛЕТУ



Самолет *F/A-18A* с активным аэроэластичным крылом впервые поднялся в воздух в ноябре 2002 г. на базе *NASA*. В проекте участвовали: *NASA*, Исследовательская лаборатория ВВС США и корпорация *Boeing*. В ходе полетов изучалось влияние усовершенствованного переднего закрылка на крутку всего крыла и возможность управления креном самолета в этих условиях. Экспериментальная модель была создана на базе прототипа истребителя *F/A-18A*, разработанного в начале 80-х гг., когда ученые столкнулись с проблемой управления креном самолета, возникшей из-за эластичности крыла. Ученые полагают, что эластичные крылья в состоянии обеспечить хорошую управляемость самолетов будущего. На схеме показано, каким образом работает крыло с технологиями *AAW*. Для создания крена на правый борт передний закрылок левого поднимается вверх, крыло скручивается и создается дополнительная подъемная сила. Если передний закрылок левого крыла опустить вниз, то усилие возрастет. С помощью элеронов можно увеличить угол его скручивания.

На фотографии видно, что передняя кромка крыла отклонена вниз.



CARLA THOMAS NASA (photograph); SAMUEL VELASCO (illustration)

роупругими крыльями, считает Дэвид Ворсек (David Vorcek), ведущий инженер *NASA*. Далее будет разработана электронная система управления самолетом. На 2004 г. запланированы летные испытания, в ходе которых будут продемонстрированы преимущества нового крыла, в частности то, что современные технологии делают самолет более устойчивым даже без использования хвостового оперения. Правда, замечает Ворсек, после достижения определенной скорости управление с помощью элеронов становится неэффективным, но в то же время передние поверхности гибкого крыла начинают играть важную роль в управлении креном самолета.

Система подавления флитера крыла, как считает Райли, повышает устойчивость самолета. По его мнению, ▸

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

• A Summary of an AFW Program. B. Perry III, S. R. Cole and G. D. Miller in Journal of Aircraft, Vol. 32, No. 1; year TK.
• An Active Flexible Wing Multi-Disciplinary Design Optimization Method. G. D. Miller. AIAA Paper No. 94–4412-CP. Year TK.
• Application of AFW Technology to the Agile Falcon. Lee Pendleton and Name TK Wasserman in Journal of Aircraft, Vol. 29, No. 3, May–June; 1992.
• Letter from Wilbur Wright to Aviation Pioneer Octave Chanute: **http://invention.psychology.msstate.edu/i/Wrights/library/Chanute–Wright–correspond/May1 3-1900.html**
• U.S. Air Force report on AAW program: **www.afrlhorizons.com/Briefs/Mar03/HQ0210.html**
• Boeing report on AAW program: **www.boeing.com/news/frontiers/archive/2002/may/i_pw.html**
• NASA report morphing wing research: **www.dfrc.nasa.gov/Newsroom/X-Press/stories/043001/new–morph.html**
• NASA report on AAW and morphing wing research: **www.nasa.gov/missions/research/twist–wing.html**
• University of Toronto ornithopter project: **www.ornithopter.net**

ТРАНСФОРМИРУЕМЫЕ КРЫЛЬЯ

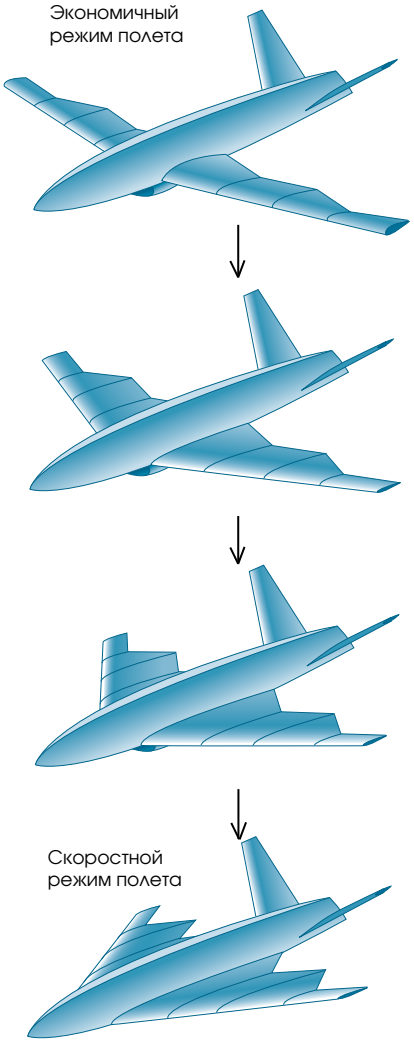
Птицы без труда совершают в полете различные маневры. Сокол, падающий на свою жертву, складывает крылья и плотно прижимает их к телу. Хищник, кружа в поисках добычи, парит в воздухе, готовясь к смертельному броску. Создатели самолета будущего стремятся наделить свое детище всеми лучшими качествами, которыми природа одарила птиц. Инженеры работают над созданием принципиально новой машины, способной изменять форму крыла в зависимости от условий полета. Подобно птицам, контролирующим изменения в окружающем пространстве, такие машины, оснащенные датчиками, смогут измерять давление и нагрузки, анализировать данные и изменять форму оперения. Специалисты *NASA* считают, что новый самолет появится к 2030 г.



Так будет выглядеть самолет будущего с трансформируемыми крыльями.

Чтобы уменьшить трение и смягчить звуковой удар, на больших скоростях крылья будут прижиматься к фюзеляжу. Воздухозаборник и сопло двигателя также меняют свой вид. Маломощные двигатели, дополнительные и управляющие поверхности смогут облегчить выполнение сложных маневров и помочь в обеспечении безопасности. Для полета на малой скорости самолет увеличивает размах и толщину крыла. Вместо вертикального хвостового оперения аппарат может иметь системы управления тяги по величине и направлению. В момент посадки поднимаются законцовки крыльев, стабилизирующие завихрения, крылья удлиняются, что сокращает пробег. Хвостовое оперение, поглощающее шум, увеличивает подъемную силу и повышает управляемость самолета.

Проект создания трансформируемых крыльев стоимостью в $25 млн. финансируется Управлением перспективного планирования научно-исследовательских работ в министерстве обороны США, занимающимся созданием самолета, способного трансформироваться из низкоскоростного в высокоскоростной и обратно.



следует создать электронную систему, контролирующую состояние поверхностей крыла, способную обнаруживать проблемные участки и устранять их неполадки.

Программа *AAW* направлена на создание прототипов самолетов различного назначения: истребителей, бомбардировщиков, пилотируемых и беспилотных. Данная технология может найти применение и в коммерческой авиации.

Какой же формы они будут?

Эксперты считают, что программа *AAW* станет первым шагом на пути создания трансформируемого крыла, способного менять форму в зависимости от условий полета. Понятно, что сочетание передних закрылков и воздушных зазоров для увеличения подъемной силы, а также крыльев с изменяющейся стреловидностью на истребителях *F-14*, *F-11*, показывает превосходный уровень их трансформации в полете. Высокие летные характеристики этих самолетов были получены за счет тяжелого поворотного механизма крыла. Создание многоцелевого самолета – летательного аппарата с аэроэластичными крыльями – потребует новых механизмов управления полетом и «умных» материалов, способных воспринимать и реагировать на нагрузки.

Чтобы создать внутреннюю структуру крыла, инженеры использовали большое количество различных сплавов, способных под воздействием температуры и электромагнитного поля менять свои свойства, пьезоэлектрические элементы. Ученые считают, что время таких технологий еще не наступило.

По мнению специалистов, изменение геометрии крыла должно составить 200% (отношение квадрата длины крыла к его площади), на 50% изменится поверхность крыла, на 20% – стреловидность, крутка крыла составит 5%. В конце 2004 г. должны начаться ис-

NASA (*photograph*); SAMUEL VELASCO (*illustration*)

пытания прототипа современного летательного аппарата в аэродинамической трубе.

Одним из основных достоинств крыльев с изменяющейся поверхностью стало отсутствие закрылков и других традиционных элементов управления, служивших основными мощными отражателями радиоволн. Бомбардировщик *B-2*, в конструкции которого используются разделенные закрылки, в момент их отклонения перестает быть невидимым для радаров.

Удлинение крыльев

Изучением трансформируемых крыльев занимаются *Lockheed Martin*, *Raytheon Missile Systems*, *NextGen Aeronautic* и несколько университетов. *Lockheed* разрабатывает легкий беспилотный аппарат со складывающимися крыльями, *Raytheon* сосредоточила свои усилия на создании ракеты *Tomahawk* с телескопическими крыльями. Компания *NextGen* ставит перед собой более широкую задачу, используя в качестве прототипа радиоуправляемый летательный аппарат *Firebee*.

«Мы намерены создать такую конструкцию, которая будет изменять свою форму в зависимости от условий полета», – (см. рис. на стр. 62) говорит Джайан Кудва (Jayanth Kudva), президент *NextGen*. Для этого необходимо сделать обшивку крыла, способную изменять свою форму; создать структуру, которая будет выдерживать нагрузки, оставаясь при этом эластичной; разработать системы приводов и контроля. Отказавшись от традиционных элементов управления, компания может использовать различные области крыла, что компенсирует возможное утяжеление всей конструкции. Для изменения крена воздушного судна достаточно увеличить площадь крыла и тем самым создать большую подъемную силу. Подобные конструкции могут использоваться и на пассажирских лайнерах. Спустя сто лет после того, как человек сел за штурвал самолета и увидел землю с высоты птичьего полета, сбудется его заветная мечта – легко парить в воздухе и ни в чем не уступать пернатым. ■

ВЗМАХНУВ КРЫЛОМ

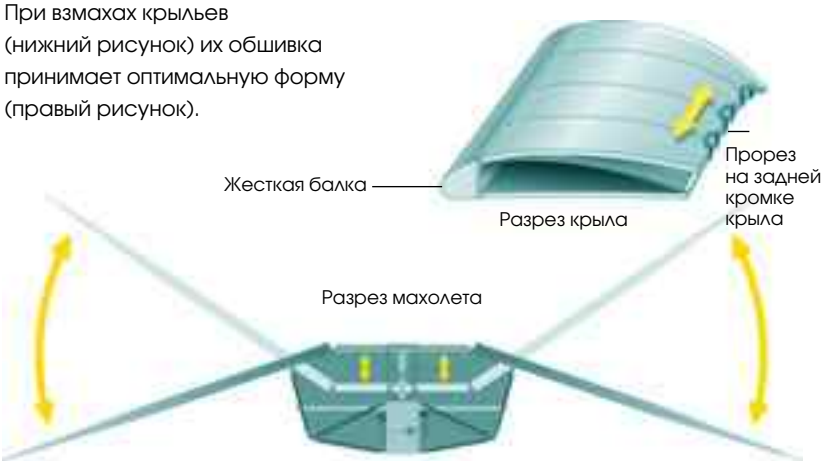
Энтузиасты из Торонтского университета с помощью крыльев гибкой конструкции пытаются воплотить в жизнь древнюю мечту человека – летать подобно птицам. С 1995 г. группа студентов под руководством профессора Джеймса Делауре (James DeLaurier) в 2004 г. попытается оторвать от земли махолет. В основе этого летательного аппарата лежит особая конструкция крыла, созданная Джеймсом Делауре совместно с Джереми Харрисом (Jeremy M.Harris), которые в первую очередь решали проблему изменения угла атаки крыла в набегающем воздушном потоке.

Идеальной схемой работы внешней части крыла махолета является та, при которой каждая часть имеет положительный угол атаки при прохождении от верхней точки до нижней. Установлено, что труба с продольной прорезью теряет свою жесткость на скручиваемость, поэтому необходимо установить такую трубку с прорезями на задней кромке крыла с эластичной обшивкой. Испытания показали, что конструкция обеспечивает положительный угол атаки и подъемную силу за счет вращения вокруг жесткого лонжерона.



Махолет

При взмахах крыльев (нижний рисунок) их обшивка принимает оптимальную форму (правый рисунок).



JAMES DELAURIER *Project Ornithopter*

ЗАЧЕМ НУЖЕН СОН?

Джером Сигел

Вопрос о природе и функциях сна до сих пор не разрешен, но сделанные недавно открытия позволили ученым выдвинуть ряд обоснованных гипотез.



Людей издавна интересует, что такое сон и зачем он нужен. Ответ на второй вопрос, казалось бы, очевиден: сон придает человеку силы, энергию и бодрость. Но такое объяснение уводит нас от решения проблемы. Это все равно что сказать: мы едим для того, чтобы не чувствовать голода, а дышим – чтобы не испытывать удушья. Однако всем хорошо известно, что главное предназначение еды – снабжение организма питательными веществами, а дыхание необходимо для осуществления газообмена. Дать столь же простое объяснение функциям сна ученые пока не могут. Его систематическое изучение началось менее века назад. За это время удалось проникнуть к некоторые тайны его природы и сделать ряд обоснованных предположений о функциях этого загадочного состояния, занимающего у каждого из нас треть жизни.

Что такое сон?

Дать научное определение сна – дело сложное. Однако все мы без труда распознаем спящего человека: он неподвижен и слабо реагирует на окружающую обстановку. (Дельфины и многие другие морские млекопитающие могут спать на плаву, а стрижи – во время полета.)

В 1953 г. Натаниэл Клейтман (Nathaniel Kleitman) и Юджин Азерински (Eugene Aserinsky) из Чикагского университета опровергли широко распространенное мнение о том, что сон обусловлен простым прекращением активности большинства структур головного мозга. Ученые обнаружили, что периоды спокойного, или медленного, сна (МС) чередуются у человека с эпизодами быстрого, или парадоксального, сна (БС), сопровождающегося интенсивными движениями прикрытых веками глаз. Исследователи предположили, что в это время в мозгу спящего человека протекают бурные физиологические процессы. Смена фаз быстрого и медленного сна в виде регулярных циклов была обнаружена у всех изученных наземных млекопитающих.

В последующие годы ученые добились наибольших успехов в понимании природы сна, изучая активность нейронов с помощью тончайших микроэлектродов, имплантированных в различные области головного мозга. Исследования показали, что у лабораторных животных большинство клеток мозга максимально активно во время бодрствования, а во время сна их деятельность принимает весьма причудливый характер. Хотя в обеих фазах сна животные полностью неподвижны и как бы не реагируют на внешний мир, однако головной мозг не «отключается».

В фазе МС различные отделы мозга ведут себя неодинаково. Так, если большинство нейронов мозгового ствола (этот отдел головного мозга переходит в спинной мозг) ослабляют или полностью прекращают свою активность, то большинство нервных клеток коры и других областей переднего мозга лишь незначительно снижают уровень импульсации. При этом необычайно сильно изменяется паттерн (характер) активности этих нейронов. Когда животное бодрствует, корковые нейроны функционируют независимо друг от друга. Во время же МС соседние нейроны начинают импульсировать синхронно, генерируя низкочастотные ритмические разряды. Дыхательный и сердечный ритмы в этой фазе сна замедляются и становятся регулярными, а сновидения возникают крайне редко.

Очень небольшая популяция нейронов в основании переднего мозга обнаруживает максимальную активность только в фазе МС (у человека эта популяция насчитывает всего 100 тысяч клеток). Предполагается, что эти нейроны ответственны за инициацию сна. Ученым пока в точности не известно, какие сигналы вызывают активацию клеток, но уровень импульсации некоторых из них, без сомнения, может увеличиваться с повышением температуры тела, чем можно объяснить возникновение сонливости после горячей ванны или долгого пребывания на пляже.

Напротив, поведение головного мозга в фазе БС напоминает его активность во время бодрствования. Большинство нейронов как переднего мозга, так и мозгового ствола поддерживают высокий уровень импульсации, непрерывно посылая другим нервным клеткам сигналы такой же высокой (или даже более высокой) частоты, что и во время бодрствования. Не менее высоким остается в фазе БС и общее потребление мозгом энергии. Сильные вспышки нейронной активности сопровождаются подергиванием конечностей и быстрыми движениями глаз. Особенно высокую активность во время БС обнаруживает группа специализированных нейронов в стволе мозга, которые отвечают за развитие фазы БС.

Самые яркие и живые сновидения возникают у человека во время БС. Они сопровождаются активацией двигательных систем мозга, в остальное время функционирующих только в период бодрствования. К счастью, большинство движений в фазе БС подавляется под влиянием двух взаимодополняющих биохимических процессов с участием нейротрансмиттеров (медиаторов) – химических веществ, опосредующих передачу сигналов от одной нервной клетки другой в области синапса (зоны контакта между двумя нейронами). С одной стороны, мозг прекращает выработку нейротрансмиттеров, которые могли бы активизировать мотонейроны (клетки, контролирующие мышечные сокращения), а с другой – начинает высвобождать нейротрансмиттеры, подавляющие активность мотонейронов (на активность мотонейронов, контролирующих сокращения глазодвигательных мышц, эти нейротрансмиттеры не влияют).

БС сильно воздействует и на функционирование мозговых систем, контролирующих деятельность внутренних органов. Так, в фазе БС сердечный и дыхательный ритмы становятся нерегулярными – как и во время бодрствования. Дают «сбой» и механизмы терморегуляции: температура тела спящего млекопитающего падает и медленно приближается к температуре окружающей среды.

MINDY JONES

Быстрый сон и по сей день остается для ученых тайной за семью печатями.

Функции сна

Оценка физиологических и поведенческих изменений, развивающихся у человека и животных в результате длительного отсутствия сна, помогает при изучении функций этого состояния. Более десяти лет назад было установлено, что крысы, полностью лишенные сна, погибают. У них отмечается значительная потеря в весе (даже несмотря на усиленное питание), увеличение частоты сердечных сокращений и повышение расхода энергии. Смерть наступает через 10–20 дней – быстрее, чем у выспавшихся, но полностью лишенных пищи грызунов.

Ученые пока не знают, что вызывает гибель животных – само отсутствие сна или же связанные с ним поражения мозга. Исследования на людях показали, что даже незначительное сокращение ночного сна вызывает резкое усиление сонливости. А управлять автомобилем или заниматься иной деятельностью, требующей постоянного внимания и бдительности, в полусонном состоянии так же опасно, как и после приема алкоголя. Между тем попытки увеличить продолжительность сна с помощью снотворных средств не только не приносят пользы, но и способствуют сокращению продолжительности жизни.

Изучаются и особенности естественного сна у животных. Различная потребность во сне у разных видов млекопитающих проливает свет на некоторые функции этого состояния. Так, опоссумы спят по 18 часов в сутки, а слонам достаточно и 3–4 часов. Можно было бы предположить, что близкородственные виды, обладающие большим генетическим, физиологическим и поведенческим сходством, должны иметь и аналогичные особенности поведения, связанного со сном. Однако изучение диких и лабораторных животных показывает, что продолжительность сна не зависит от таксономического положения организмов: некоторые приматы спят столько же, сколько и многие грызуны, а некоторые грызуны – столько же, сколько и хищные звери и т.д. От чего же в таком случае зависит время, требующееся им для сна?

Как ни удивительно, главный фактор, определяющий этот показатель, – размер тела: крупные животные спят меньше, чем мелкие. У слонов, жирафов и приматов (в том числе и людей) потребность во сне невелика. Крысы, полевки, кошки и прочие мелкие зверьки проводят в этом состоянии большую часть жизни. Причина кроется в том, что им свойственна более высокая скорость обмена веществ и более высокая температура тела и мозга, чем крупным животным. В результате обменных биохимических реакций образуются свободные радикалы – частицы, обладающие чрезвычайно высокой реакционной способностью и вызывающие повреждение и даже гибель клеток. Таким образом, высокая интенсивность метаболизма связана с увеличением частоты повреждений клеток и находящихся в них молекул нуклеиновых кислот, белков и жиров.

Многие ткани способны восполнять ущерб, причиняемый свободными радикалами, заменяя поврежденные клетки новыми, которые возникают в результате клеточного деления. Но в большинстве структур головного мозга новые нейроны после появления животного на свет почти не образуются (гиппокамп, принимающий участие в процессах памяти и обучения, – счастливое исключение). Снижение скорости обмена веществ и температуры мозга в фазе МС дает организму прекрасную возможность устранить повреждения, причиненные свободными радикалами во время бодрствования. Так, например, вместо старых ферментов, чья структура была нарушена свободными радикалами, в тканях мозга могут синтезироваться новые молекулы с нормальной структурой.

В 2002 г. ученые из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе показали, что повреждение нейронов головного мозга крыс (в виде разрушения клеточной мембраны) – прямое следствие отсутствия сна. Это открытие подтверждает предположение о способности МС защищать мозг от вредного воздействия метаболических факторов.

Но в случае БС эта гипотеза не работает. В фазе сна, когда большинство нейронов мозга функционирует не менее активно, чем во время бодрствования, репаративные (восстанови-

ОБЗОР: СОН: ФАКТЫ И ПРЕДПОЛОЖЕНИЯ

- Хотя научные споры о природе и функциях сна не прекращаются и поныне, сделанные недавно открытия позволили ученым выдвинуть ряд обоснованных гипотез.
- Одна из них состоит в том, что благодаря ослаблению нейронной активности в фазе медленного сна многие клетки головного мозга могут восстанавливаться от повреждений.
- Не исключено также, что приостановка выработки моноаминов в фазе быстрого сна способствует возобновлению чувствительности клеточных рецепторов к этим нейротрансмиттерам.
- Интенсивная нейронная активность во время БС в ранней жизни животных обеспечивает правильное формирование головного мозга.

СОН, СНОВИДЕНИЯ, БОДРСТВОВАНИЕ

Головной мозг функционирует во время быстрого и медленного сна неодинаково. На рисунках отражены некоторые различия, а также предполагаемые функции двух типов сна.



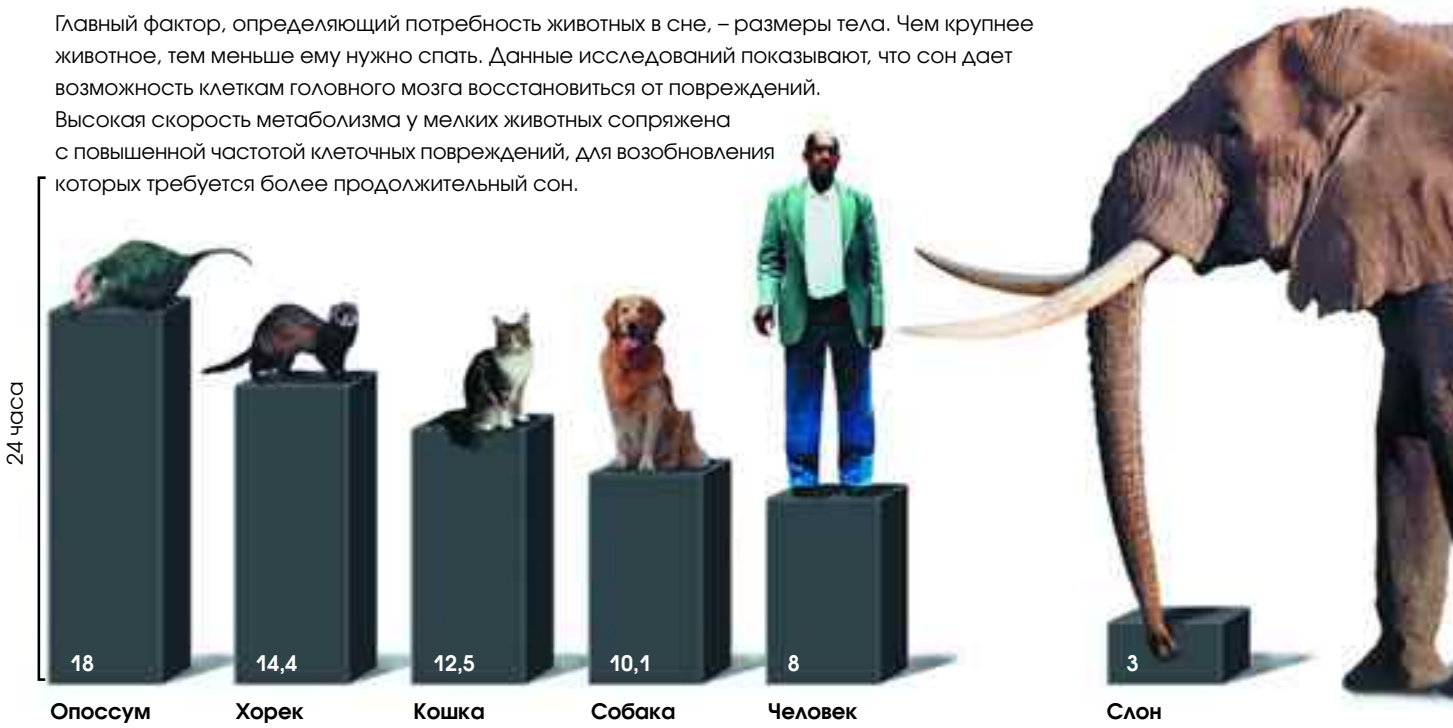
тельные) процессы протекать не могут. Однако самого пристального внимания заслуживает особая группа нейронов, которая во время БС ведет себя противоположно. Как уже отмечалось, в фазе БС мозг прекращает выработку некоторых нейротрансмиттеров. К их числу принадлежат норадреналин, серотонин и гистамин, которых ученые относят к классу соединений, называемых моноаминами. Нейроны мозга, продуцирующие моноамины, обнаруживают максимальную активность во время бодрствования, но во время БС эти клетки полностью прекращают генерировать нервные импульсы.

В 1988 г. мы с Майклом Рогавски (Michael Rogawski) из Национального института здравоохранения предположили, что прекращение выброса нейротрансмиттеров – необходимое условие нормального функционирования этих нейронов и их рецепторов (молекул на поверхности клеток, взаимодействующих с нейротрансмиттерами и опосредующих передачу сигналов внутрь этих клеток). Как показывают результаты ряда исследований, длительное высвобождение моноаминов способно привести к десенситизации

KEITH KASNOT

КТО СКОЛЬКО СПИТ?

Главный фактор, определяющий потребность животных в сне, – размеры тела. Чем крупнее животное, тем меньше ему нужно спать. Данные исследований показывают, что сон дает возможность клеткам головного мозга восстановиться от повреждений. Высокая скорость метаболизма у мелких животных сопряжена с повышенной частотой клеточных повреждений, для возобновления которых требуется более продолжительный сон.



рецепторов этих нейротрансмиттеров, а приостановка выброса моноаминов во время БС дает системе рецепторов некоторую передышку и возможность восстановить чувствительность к нейротрансмиттерам.

Моноамины играют важную роль и в изменении межнейронных связей в ответ на воздействие новых стимулов. Таким образом, благодаря выключению их продукции во время БС головной мозг способен предотвращать изменение межнейронных соединений, которое могло бы произойти под влиянием интенсивной импульсации других нейронов в данной фазе сна.

Прочие возможности

Какие еще функции может выполнять БС? Фредерик Снайдер (Frederick Snyder) и Томас Уэр (Thomas Wehr) из Национального института здравоохранения предположили, что отмечающееся во время БС усиление активности нейронов, не принимающих участие в выработке моноаминов, помогает млекопитающим лучше, чем, скажем, рептилиям, приспосабливаться к неблагоприятным условиям окружающей среды. Всем хорошо известно, как вяло ведут себя пресмыкающиеся при низких температурах, расшевелить их может лишь внешний источник тепла. Но хотя у млекопитающих в фазе БС механизмы терморегуляции работают плохо, высокая нейронная активность способна повысить интенсивность мозгового метаболизма и помочь животному быстро отреагировать на неблагоприятную ситуацию после внезапного пробуждения. В пользу этой гипотезы свидетельствует и тот факт, что люди, проснувшиеся во время БС, чувствуют себя бодрее и собраннее, чем разбуженные в фазе МС.

Представление о том, что недостаток БС приводит к развитию психических расстройств, сегодня полностью опровергнуто (хотя исследования показывают, что хроническое недосыпание способно вызвать раздражительность). Было установлено, что нехватка БС ослабляет симптомы клинической депрессии. Хотя природа этого феномена пока не ясна, можно предположить, что дефицит БС имитирует действие антидепрессантов, относящихся к классу избирательных ингибиторов обратного всасывания серотонина, к которому принадлежат такие известные препараты, как прозак, паксил и др. Поскольку обычного снижения уровня моноаминов в фазе БС не происходит, увеличивается синаптическая концентрация нейротрансмиттеров, запасы которых у людей, страдающих депрессией, истощены.

Некоторые исследователи полагают, что БС играет важную роль в процессах консолидации памяти. Однако многие факты опровергают такое предположение. Так, было показано, что у пациентов с нарушениями БС вследствие повреждения мозга или приема некоторых лекарств память не только не хуже, но иногда лучше, чем у здоровых людей. Хотя недосыпание и ослабляло внимание испытуе-

NINA FINKEL (chart); W. PERRY CONWAY Corbis (opossum); RENEE LYNN Photo Researchers, Inc. (elephant)



мых и ухудшало выполнение ими различных заданий, отсутствие БС после некоторого периода активного усвоения новой информации ничуть не отражалось на ее удержании в памяти. Нелишне вспомнить дельфинов, у которых БС почти полностью отсутствует. Однако своей смышленостью и способностью к обучению они превосходят большинство млекопитающих.

Продолжительность БС у человека (90–120 минут в сутки) вполне сравнима с продолжительностью БС у других млекопитающих. Также она одинакова и у людей с высоким *IQ* и с посредственными умственными способностями. Однако она меняется на протяжении жизни. У всех изученных животных этот показатель максимален в самом начале жизни, затем продолжительность БС начинает постепенно сокращаться, а в зрелом возрасте стабилизируется. Любопытные факты наблюдаются при сравнении различных видов животных: продолжительность БС больше у тех млекопитающих, чьи детеныши появляются на свет плохо развитыми.

В 1999 г. мы с Джеком Петтигрю (Jack Pettigrew) из Квинслендского университета (Австралия) изучали утконоса. К нашему удивлению, один из самых древних и необычных зверей на свете оказался чемпионом по продолжительности БС среди всех млекопитающих: 8 часов в сутки! Детеныши утконоса вылупляются из яиц слепыми и совершенно беспомощными, у них полностью отсутствует терморегуляция, и они в течение многих недель питаются материнским молоком. Напротив, дельфиненок сразу же после рождения способен регулировать температуру своего тела, плыть следом за матерью и спасаться от хищников. Хотя у взрослых дельфинов, как уже отмечалось, БС почти полностью отсутствует.

Любопытное объяснение большой продолжительности БС в начальном периоде жизни предложил один из первых исследователей сна Мишель Жуве (Michel Jouvet). По его мнению, интенсивная нейронная активность и высокий расход энергии в фазе БС играют важную роль в правильном формировании нейронных связей, ответственных за инстинктивное поведение животных. Перед появлением животного на свет (и в ранней жизни зверей, рождающихся с плохо развитыми сенсорными системами) БС может выступать в качестве суррогата внешней сенсорной стимуляции, которая способствует формированию и созреванию нейронных сетей у животных, появляющихся на свет с хорошо развитыми сенсорными функциями. Эту гипотезу подкрепляет ряд исследований, проведенных учеными из Центра по изучению расстройств сна при Медицинском центре Миссисипского университета, которые обнаружили, что лишение новорожденных котят БС может привести к аномальному развитию зрительной системы.

Современные исследователи убеждены в том, что изучение мозговых структур, контролирующих быстрый и медленный сон, в недалеком будущем приведет нас к более глубокому и всестороннему пониманию природы сна и его функций. Дальнейшее изучение механизмов и эволюции этого таинственного состояния поможет понять, какие именно молекулярные и клеточные структуры нашего тела получают во время сна передышку и возможность восстановиться от повреждений и почему во сне эти процессы протекают наиболее эффективно. ■

В начале жизни продолжительность быстрого сна максимальна, затем она постепенно сокращается.

ОБ АВТОРЕ:

Джером Сигел (Jerome M. Siegel) – профессор психиатрии в Институте мозга Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе и руководитель программы нейробиологических исследований в Сепульведском центре медицинской помощи ветеранам. Джером Сигел – экс-президент Общества по изучению сна и председатель Ассоциации обществ профессиональных исследователей сна. В последнее время продолжительность его ночного сна сократилась до 6 часов: каждое утро он должен отвозить в школу свою маленькую дочь.

ВЕЛИКИЙ СИМБИОЗ: ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЭУКАРИОТНОЙ КЛЕТКИ

Владимир Малахов

Сто лет назад российский биолог К.С. Мережковский высказал предположение, что эукариотная клетка возникла в результате симбиоза нескольких самостоятельных организмов. Эта идея стала одной из главных парадигм современной биологии.

Все живые организмы, населяющие нашу планету, делятся на две большие группы: прокариоты (безъядерные) и эукариоты (ядерные). Прокариоты – это бактерии, у которых наследственный материал представлен простой кольцевой молекулой ДНК. Ядерными называются различные одноклеточные и многоклеточные организмы (простейшие, растения, животные и грибы), в клетках которых имеется оформленное ядро с хромосомами, в которых линейные молекулы ДНК связаны с особыми ядерными белками – гистонами. Помимо ядра в клетках эукариотных организмов есть и другие органеллы: митохондрии, жгутики, хлоропласты. Когда и как возникли эукариотные организмы, господствующие в современной биосфере?



Земля в первые полмиллиарда лет ее существования была лишена воды. Озера огненной лавы чередовались с застывшими лавовыми полями

Й. Садил, Л. Пешек. Планета Земля. Прага. Изд-во «Артия», 1968

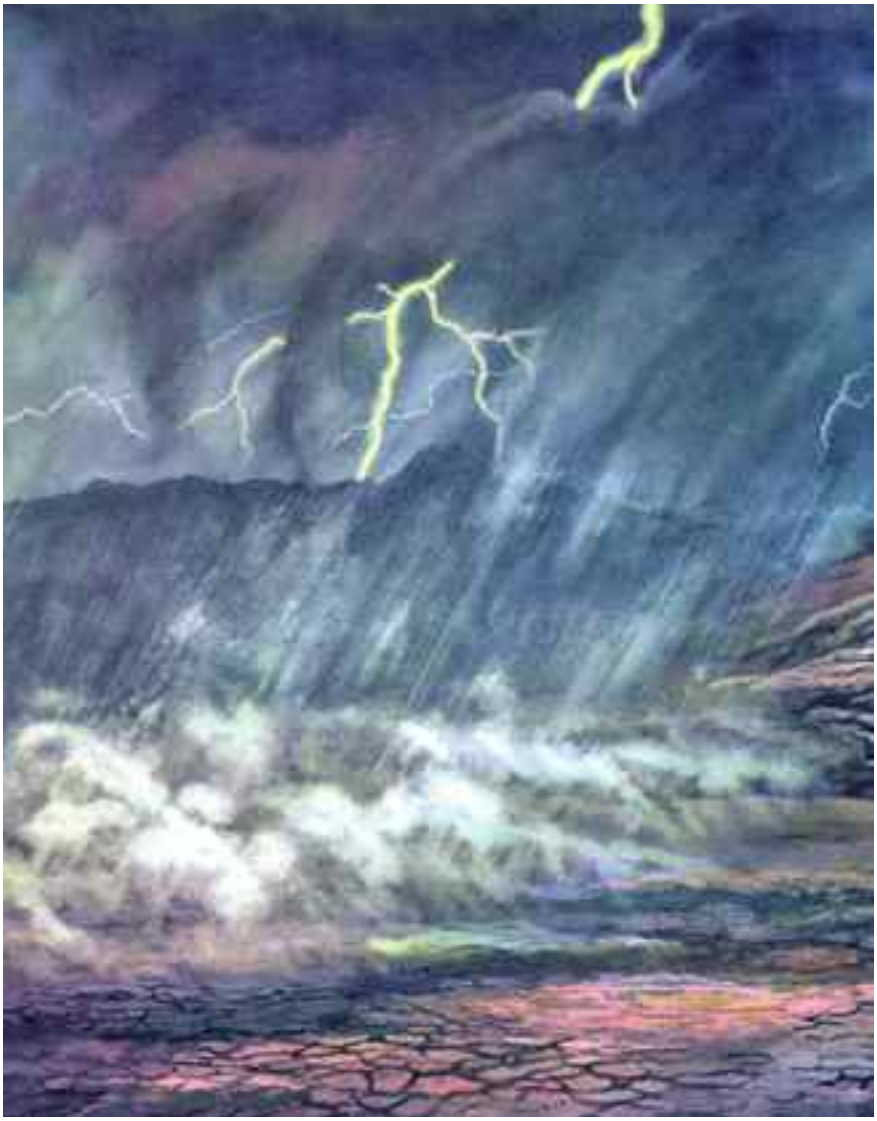
Биосферные предпосылки возникновения эукариотных организмов

Согласно современным представлениям, наша планета сформировалась около 4,5 млрд. лет назад. Первоначально Земля была сухой, вода появилась в результате дегазации недр – выхода в атмосферу водяного пара и газов, составлявших древнюю атмосферу. По мере конденсации водяного пара появлялись сначала мелкие лужицы, которые понемногу становились все больше и больше. Однако понадобилось 500–700 млн. лет для того, чтобы на Земле возникли более или менее крупные водоемы, которые постепенно сформировали гидросферу – жидкую оболочку нашей планеты, занимающую в настоящее время около 70% ее поверхности. Затем в результате оседания на дно водоемов различных частичек образовались и осадочные породы.

Древнейшими осадочными породами считаются графитизированные сланцы из формации Исуа в Гренландии – их возраст составляет около 3,8 млрд. лет. Удивительно, что в этих породах обнаружены несомненные признаки некогда существовавшей жизни – следы деятельности организмов, осуществлявших процесс фотосинтеза. Дело в том, что в органическом веществе, созданном в процессе фотосинтеза, соотношение изотопов углерода ^{12}C и ^{13}C меняется в пользу более легкого изотопа ^{12}C. И что бы с данным веществом ни происходило в дальнейшем, такое соотношение в нем будет сохраняться. Углерод в сланцах формации Исуа – явно органического происхождения. Это означает, что уже 3,8 млрд. лет назад в первичных водоемах планеты (скорее всего Мирового океана в то время еще не существовало) жили организмы, способные к фотосинтезу. Окаменевшие клетки, сходные с современными цианобактериями, обнаружены в породах возрастом 3,5 млрд. лет (формация Варравуна в Австралии). В чуть более молодых отложениях (более 3,1 млрд. лет) найдены остатки хлорофилла – фитан и пристан, а также специфические пигменты цианобактерий – фикобилины.

Разумеется, среди организмов той поры были не только фотосинтетики, использующие энергию солнечного света, но и хемосинтетики, получающие энергию за счет различных химических реакций. В первые миллиарды лет существования биосферы вследствие деятельности хемосинтетических бактерий сформировались многие (если не большинство) из рудных залежей, которыми до сих пор пользуется человечество, поэтому в рудных телах нередко находят окаменевшие остатки бактерий. Например, такое крупное месторождение железных руд, как Курская магнитная аномалия, по современным данным, образовалось в результате деятельности бактерий.

Нет сомнения в том, что на протяжении значительной части своей истории (не менее 2 млрд. лет) биосфера была прокариотной, то есть в ее состав входили только организмы, сходные с современными бактериями. Эукариотные организмы – разнообразные одноклеточные простейшие, а позднее (600–800 млн. лет назад) и многоклеточные организмы – заняли свое место в биосфере лишь около 1 млрд. лет назад.



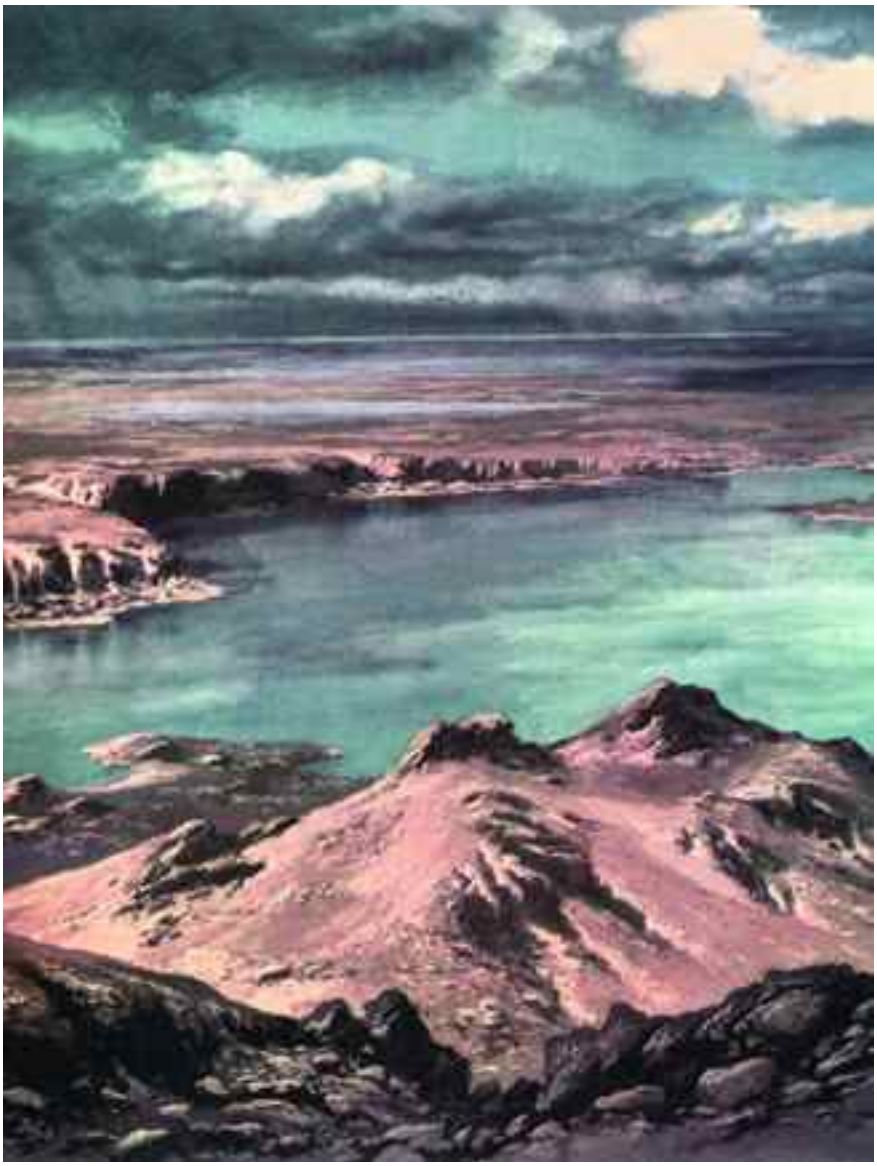
Вода, выделившаяся с вулканическими газами, проливалась на поверхность планеты. Этот процесс сопровождался мощными электрическими разрядами, которые способствовали синтезу сложных органических молекул.

Прокариоты и эукариоты – две главные разновидности живых существ на нашей планете. Биологи и медики, правда, активно изучают еще одну группу биологических объектов – вирусы, но они проявляют свойства живого организма только внутри клеток своих «хозяев». Размеры прокариотных клеток в большинстве случаев колеблются от 0,5 до 3 мкм, а самые мелкие (микоплазмы) не превышают 0,10–0,15 мкм. Гигантские клетки некоторых серобактерий достигают 100 мкм в длину, а клетки спирохет иногда вырастают до 250 мкм. Главная черта прокариот – отсутствие ядра. Их генетический материал (генофор) представлен единственной кольцевой молекулой двухцепочечной ДНК, закрепленной на цитоплазматической

Й. Сдзил, Л. Пешек. Планета Земля. Прага. Изд-во «Артия». 1968

мембране, одевающей клетку. Прокариоты не имеют ядерной оболочки, эндоплазматического ретикулюма (иногда имеются впячивания поверхностной мембраны – так называемые мезосомы), митохондрий, пластид и других цитоплазматических органелл, свойственных эукариотам. У них отсутствуют и микротрубочки, поэтому они не имеют ни центриолей, ни веретена деления. Рибосомы прокариот лишены одного из типов рибосомальной РНК (так называемой 5,8*S* РНК) и имеют меньшую массу, чем у эукариот. Обычно масса рибосом оценивается так называемой константой седиментации (показателем скорости оседания при центрифугировании). Для рибосом прокариот она равна 70*S*, а для эукариот – 80*S*.

Прокариоты обладают громадным (по сравнению с эукариотами) разнообразием обменных процессов. Они способны к фиксации углекислоты, азота, различным вариантам брожения, окислению всевозможных неорганических субстратов (соединений серы, железа, марганца, нитритов, аммиака, водорода и др.). Среди прокариот немало фотосинтезирующих форм, прежде всего это часто встречающиеся в современной биосфере цианобактерии, которые еще называют сине-зелеными водорослями. Они (или родственные им организмы) были широко распространены и в далеком прошлом. Геологические постройки, созданные древними цианобактериями (вероятно, вместе с другими фотосинтезирующими прокариотами) – строматолиты, – нередко обнаруживаются в древнейших слоях земной коры, соответствующих архею и раннему протерозою. Начавшаяся около 4 млрд. лет назад деятельность фотосинтезирующих и других автотрофных прокариот имела несколько важнейших последствий.

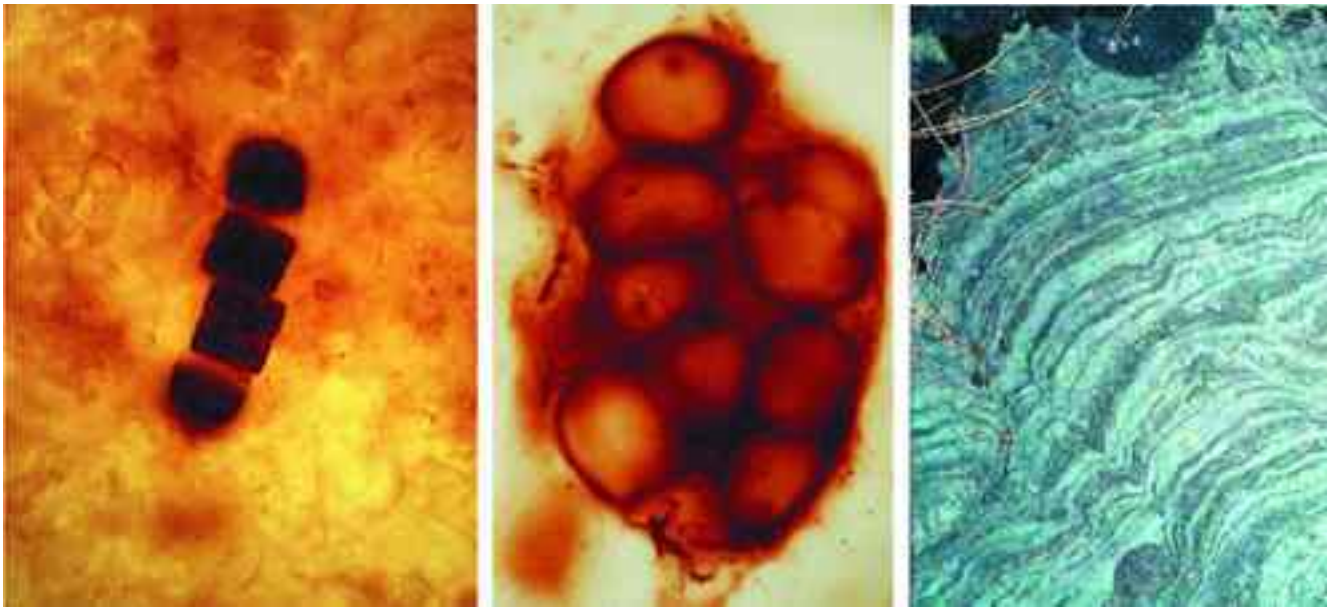


Неглубокие водоемы, образовавшиеся около 4 млрд. лет назад. В них обитали первые живые организмы, близкие к современным цианобактериям.

Й. Сафил, Л. Пешек. Планета Земля. Прага. Изд-во «Артия». 1968

Первое связано с изменением атмосферы Земли. Дело в том, что в древности она была практически бескислородной. В результате фотосинтеза молекулярный кислород стал выделяться в атмосферу, но быстро связывался с неокисленными компонентами литосферы – железом и другими металлами. Поэтому, несмотря на наличие постоянного источника свободного кислорода, биосфера оставалась по преимуществу анаэробной. Живые организмы в этот период тоже были представлены в основном анаэробами. В литосфере между тем откладывались полосчатые железные руды (так называемые джеспилиты), в которых окисленное железо чередовалось с недоокисленным. В бескислородных условиях откладывались пириты (руды типа FeS_2), которые не могли формироваться при наличии свободного кислорода. Находки подобных ископаемых позволяют установить, что, несмотря на обилие фотосинтетиков, анаэробный период в развитии биосферы длился почти 2 млрд. лет.

Однако около 2 млрд. лет назад содержание кислорода в атмосфере достигло 1% и продолжало повышаться, поскольку к тому времени большая часть находившегося на поверхности железа и других металлов оказалась окисленной. В то же время количество



Клетки ископаемых прокариотных организмов, близких к цианобактериям, в тонких шлифах архейских осадочных пород (слева и в центре). Справа – фотография ископаемых строматолитов, образованных древними фотосинтезирующими бактериями.

железа и других металлов, поднимающихся из глубин Земли, постепенно уменьшалось. При формировании планеты тяжелые и легкие компоненты оказались перемешаны случайным образом. В дальнейшем в процессе гравитационной дифференцировки металлы постепенно погружались к центру планеты, формируя ее железное ядро, а легкие компоненты – силикаты – поднимались вверх, образуя мантию.

Для анаэробных организмов повышение концентрации кислорода было катастрофой, поскольку кислород – очень агрессивный элемент, он быстро окисляет и разрушает органические соединения. Если в анаэробной биосфере, в толще строматолитов оставались аэробные карманы, откуда накапливающийся в результате фотосинтеза кислород диффундировал в атмосферу, то теперь биосфера, по меткому выражению академика Г.А. Заварзина, «вывернулась наизнанку» – она превратилась в кислородную с немногочисленными бескислородными карманами, где нашли убежище анаэробные микроорганизмы. В новой аэробной атмосфере могли выжить только те немногие прокариоты (оксибактерии), которые еще раньше в кислородных карманах в толще строматолитов приспособились к высокой концентрации кислорода.

Второе важное следствие деятельности автотрофных прокариот – накопление залежей органического вещества. Биотический круговорот веществ в биосфере, состоящей исключительно из прокариот, был очень несовершенен. Биомасса, созданная автотрофными бактериями, подвергалась разложению преимущественно под воздействием абиотических физических и химических процессов во внешней среде. Без сомнения, существенную роль в разложении биомассы, созданной прокариотными автотрофами, играли и гетеротрофные бактерии, однако их возможности были ограничены в силу особенностей организации клеток прокариот. Как известно, прокариоты принципиально не способны к заглатыванию своих жертв. Хищничество у бактерий встречается очень редко и выглядит весьма необычно. Хищная бактерия *Bdellovibrio* по размерам значительно меньше своих жертв, она проникает через клеточную стенку бактерии и размножается внутри организма несчастной.

Почему же прокариоты неспособны к заглатыванию пищи? Дело в том, что у них отсутствуют актин и миозин – белки, обеспечивающие подвижность цитоплазмы у эукариот. Благодаря им при захвате пищевых частиц (фагоцитозе) и формировании пищеварительных вакуолей формируются псевдоподии (временные цитоплазмические выросты, служащие для передвижения и захвата пищи). Прокариоты этого делать не могут. Гетеротрофные бактерии выделяют ферменты во внешнюю среду, происходит своего рода «наружное переваривание» (экзоферментация), а низкомолекулярные продукты всасываются через цитоплазматическую мембрану. Все это обусловило низкую скорость разложения биомассы, созданной автотрофными прокариотами. Поэтому на ранних этапах эволюции биосферы огромные массы органического углерода выводились из биологического круговорота, сохранялись в осадке, подвергались химической трансформации, превращаясь в горючие сланцы, нефть и газ,

Иллюстрации предоставлены автором статьи

которыми человечество активно пользуется до сих пор.

Усовершенствовать биологический круговорот, ускорить возврат в него углерода и других биогенных элементов могло только появление микроскопических аэробных хищников, которые заглатывали бы бактерий, переваривали их и возвращали в биосферу углерод (желательно в виде CO_2), азот (в виде соединений аммония), фосфор и другие биогенные элементы. Такими хищниками стали первые эукариотные организмы.

Хищники

Эукариоты обладают двумя универсальными белками – актином и миозином, обеспечивающими разнообразные типы клеточной подвижности: амебоидную активность, движение органелл внутри клетки, а у высших организмов – мышечные сокращения. Актиново-миозиновая система позволяет образовывать псевдоподии, захватывать ими жертву и формировать пищеварительные вакуоли (даже вирусы проникают в клетку эукариот путем провокации так называемого «эндоцитоза» – клетка принимает их за нечто полезное, «проглатывает», и вирус, оказавшись в цитоплазме, начинает свою разрушительную работу). Приобретение актиново-миозиновой системы позволило эукариотам питаться путем фагоцитоза, активно захватывая крупные пищевые частицы.

Появление таких организмов необычайно ускорило биотический круговорот, поскольку они стали потребителями бактериальной биомассы. Переваривая клетки бактерий, фаготрофные эукариоты быстро возвращали в круговорот веществ элементы, которые до этого могли снова попасть в него только путем медленного разложения. Можно предположить, что появление эукариот повлекло за собой резкое уменьшение «бактериальных ископаемых», то есть отложений органических и неорганических веществ, возникших в результате деятельности бактерий.

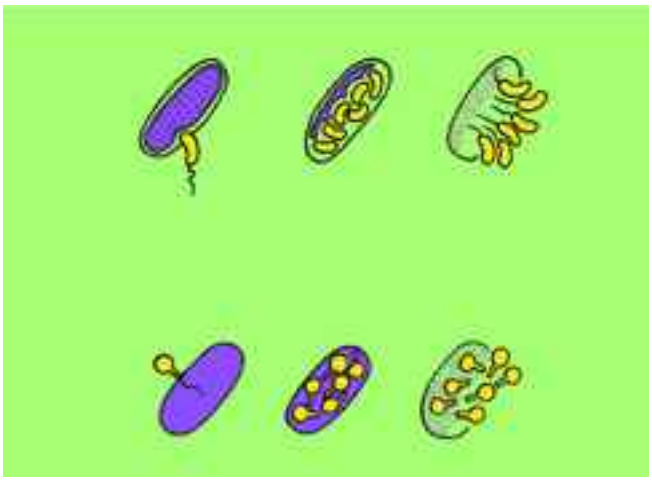
Способность эукариот захватывать пищевые частицы подразумевала, что хищник должен быть крупнее жертвы. Действительно, линейные размеры мелких почвенных амеб или жгутиконосцов приблизительно в 10 раз превышают размеры бактерий, которыми они питаются. Таким образом, объем цитоплазмы эукариот примерно в 1000 раз больше, чем у прокариот, что требует и большого числа копий генов, чтобы снабжать цитоплазму продуктами транскрипции. Один из способов решения этой задачи – увеличение числа генофоров, то есть кольцевых молекул ДНК. По этому пути пошли крупные (так называемые «полиплоидные») бактерии и предки эукариот с большим объемом цитоплазмы. Множественные генофоры (первоначально одинаковые) стали зачатками хромосом, в которых постепенно накапливались различия.

При амебоидном движении и питании путем фагоцитоза цитоплазма клетки (особенно периферическая) становится очень подвижной. Генофоры, прикрепленные к поверхностной мембране клетки, оказывались в зоне сильных токов цитоплазмы, поэтому в центральной цитоплазме появился защищенный мембранами участок, где хранились генофоры. Процесс мог происходить по-разному, но один из

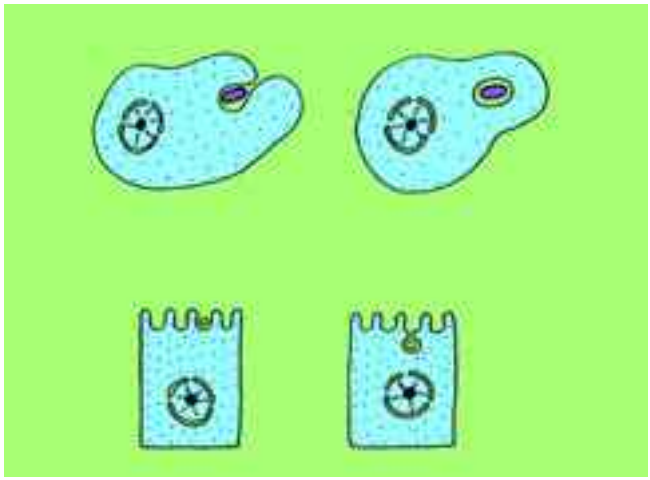


Цианобактерии процветают и в современной биосфере (левая фотография). Кое-где они образуют постройки, напоминающие древние строматолиты. На правой фотографии показаны современные строматолиты из залива Шарк-бей на севере Австралии.

Иллюстрации предоставлены автором статьи



«Хищничество» у современных прокариотных организмов. Вверху показано как «хищная» бактерия *Bdellovibrio* проникает в кишечную палочку и размножается внутри нее. Внизу – вирус-бактериофаг впрыскивает в бактерию свою ДНК, тогда как его белковая оболочка остается снаружи. Вирусная ДНК обеспечивает синтез новых вирусных частиц.



Благодаря актиново-миозиновой системе эукариотные организмы могут образовывать псевдоподии и фагоцитировать бактерии и другие частицы (вверху). Вирус использует это свойство эукариотных организмов и провоцирует эндоцитоз – поглощение вирусной частицы самой клеткой (внизу).

возможных путей – глубокие впячивания участков цитоплазматической мембраны с прикрепленными к ним генофорами (ведь ядерная оболочка – это часть эндоплазматического ретикулюма эукариотной клетки, который может быть связан с внешней средой).

Первичные эукариоты, таким образом, имели ядро, ограниченное двойной ядерной оболочкой – производным эндоплазматического ретикулюма, но имели еще кольцевое строение генофоров и были лишены специфических ядерных белков – гистонов. Как ни удивительно, подобное строение ядра сохранилось и у некоторых современных эукариот, например у динофлагеллят. У этих простейших ядро окружено двойной ядерной мембраной, но хромосомы содержат кольцевые молекулы ДНК, лишенные гистонов. По-видимому, ядро динофлагеллят – реликтовая структура, сохранившая строение, характерное для первичных эукариотных организмов.

Симбиотическое происхождение митохондрий и жгутиков

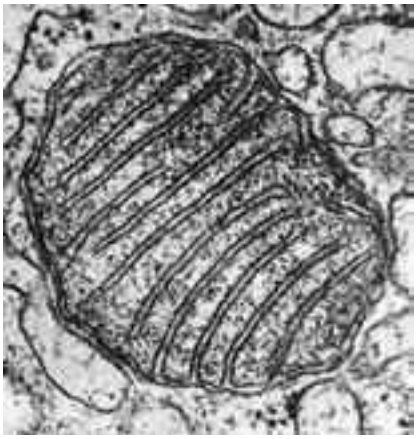
Способность к фаготрофному питанию предопределила возможность появления у эукариот внутриклеточных симбионтов. Прокариоты этого делать не могли – лишенные способности заглатывать кого бы то ни было, они не приобрели внутриклеточных эндосимбионтов. Для эукариот, наоборот, включение в качестве внутриклеточных симбионтов различных прокариотных и эукариотных организмов весьма характерно. Эукариотная клетка возникла в результате симбиоза первичного амебоидного организма с различными прокариотными и эукариотными существами. Данное положение легло в основу так называемой концепции симбиогенеза, которая стала одной из парадигм современной биологии.

Концепция симбиогенеза была сформулирована еще в начале XX в. двумя выдающимися российскими биологами – К.С. Мережковским (родным братом известного писателя Д.С. Мережковского) и Ф.С. Фаминицыным. Однако их идеи в то время не были оценены по достоинству и не получили широкого распространения. К идее симбиогенеза биологи вернулись только в последние десятилетия XX в., когда накопилось множество данных по структуре клеток эукариотных организмов. Современные положения симбиогенетической концепции разработаны в трудах американского биолога Лины Маргелис и отечественных исследователей А.Л. Тахтаджана и И.М. Мирабдуллаева.

Согласно нынешним представлениям, симбиотическое происхождение имеют такие важные органеллы эукариотной клетки, как митохондрии. Они обеспечивают синтез главного энергетического ресурса любой клетки – АТФ за счет окислительного фосфорилирования, которое возможно только в присутствии кислорода. Не имеют митохондрий лишь некоторые простейшие, обитающие в анаэробных условиях (например, в кишечнике животных или в лишенных кислорода болотных водах). Несомненно, отсутствие у них митохондрий – вторичный признак, связанный с существованием в бескислородных условиях, это подтверждается тем, что в геноме таких простейших найдены некоторые митохондриальные гены.

Как известно, митохондрии окружены двумя мембранами, причем внутренняя (та, что образует кристы митохондрий) принадлежит самой митохондрии, а наружная – вакуоли, в которой находится симбионт.

Иллюстрации предоставлены автором статьи



Электронно-микроскопическая фотография митохондрии.

Митохондрия обладает собственным наследственным материалом, организованным так же, как у прокариотных организмов. Это – лишенная гистонов кольцевая молекула ДНК, несущая информацию о белках, которые синтезируются в самой митохондрии на ее собственных рибосомах прокариотного типа с константой седиментации 70*S*. Правда, у митохондрий кольцевая молекула ДНК приблизительно в сто раз короче, чем у бактерий, существующих самостоятельно. Дело в том, что многие митохондриальные белки кодируются в ядерной ДНК эукариотной клетки. По-видимому, в процессе длительной совместной эволюции клетки хозяина и симбионта значительная часть генов из генома митохондрий перешла в ядро эукариотной клетки. В геноме митохондрий остались гены только тех белков, которые не могут преодолеть барьер из двух мембран (например, гидрофильные белки). Тем не менее митохондрии не рождаются в клетке заново – они делятся так же, как свободноживущие бактерии.

Какие же прокариоты могли быть предками митохондрий? Среди современных прокариот ближе всего к ним пурпурные альфа-протеобактерии (об этом свидетельствуют, в частности, и новые данные молекулярной филогении) – аэробные фотосинтезирующие бактерии, мембрана которых образует глубокие впячивания, похожие на кристы митохондрий. Прародители таких бактерий, вероятно, обитали в кислородных карманах анаэробной биосферы. Вступив в симбиоз с древними амебоидными эукариотами, протеобактерии утратили способность к фотосинтезу, поскольку все необходимые органические вещества они стали получать от хозяина – древнего эукариота, получившего свою выгоду: перестал бояться высоких концентраций кислорода, который утилизировали симбионты.

Первичные аэробные эукариоты, обладающие симбионтами, первоначально тоже заселяли кислородные карманы, но когда через 3 млрд. лет после образования биосферы концентрация кислорода стала нарастать, эукариоты получили возможность широко распространиться в биосфере. В слоях земной коры, относящихся к этому периоду, появляются так называемые акритархи – крупные сферические клетки диаметром 50–60 мкм. Они не могли принадлежать прокариотам, сферические клетки которых не превышают в диаметре нескольких микрон (нитевидные формы могут достигать значительно большей длины). В слоях, возраст которых составляет около 1,7 млрд. лет, найдены стеролы – вещества, синтезируемые в ядре эукариотных организмов. Таким образом, в период от 1 до 2 млрд. лет назад началась адаптивная эволюция эукариот.

Жгутики и реснички эукариотных клеток тоже считаются «потомками» симбиотических прокариот. Многие бактерии (например, вибрионы) имеют жгутики (так называемые «флагеллы») –

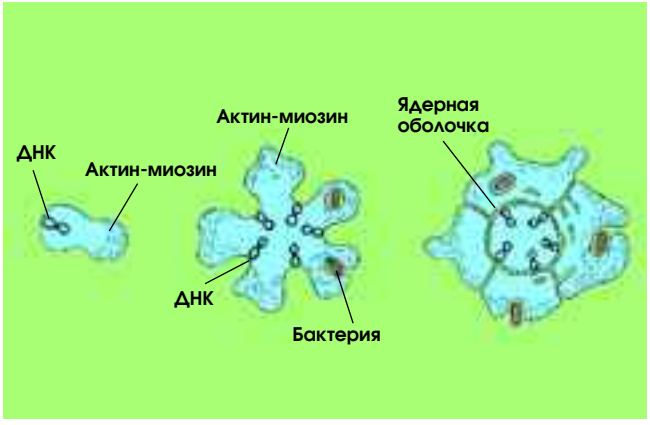
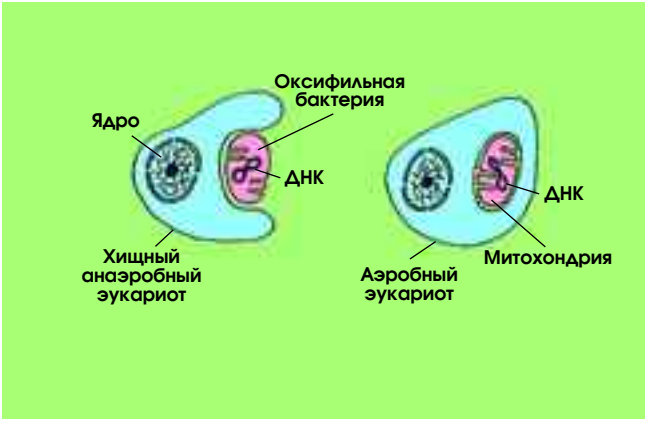


Схема происхождения эукариотной клетки. Слева – гипотетический прокариотный организм, обладающий актиново-миозиновой системой. В середине – крупный хищный прокариот с множественными генофорами, который питается заглатывая бактерий. Справа – первичный эукариот, у которого за счет глубоких впячиваний поверхностной цитоплазматической мембраны сформировалась ядерная оболочка.

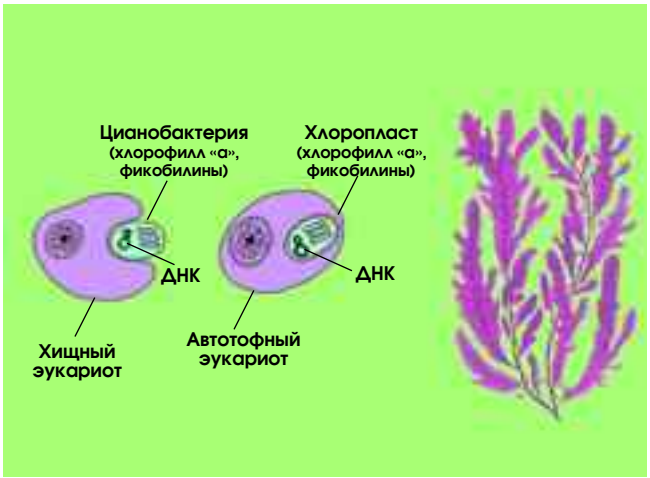


Происхождение митохондрий путем симбиоза хищного анаэробного эукариота и оксифильной бактерии.

Иллюстрации предоставлены автором статьи



Происхождение эукариотной клетки путем симбиоза сначала с оксифильными бактериями (предками митохондрий), а потом – со спирохетами (предками жгутиков).



Происхождение хлоропластов красных водорослей путем симбиоза с цианобактериями.

особые образования, содержащие белок флагеллин. Но ни по строению, ни по химическому составу они не имеют ничего общего со жгутиками и ресничками эукариот. Зато у последних они устроены абсолютно идентично. Жгутики паразитического простейшего – трипаносомы, реснички инфузории-туфельки, сперматозоиды папоротника, реснички трахеи человека устроены одинаково. Внутри жгутика или реснички проходят правильно расположенные микротрубочки, состоящие из особого белка – тубулина (который никогда не встречается у прокариот). Располагаются они следующим образом: в центре проходят две одиночные микротрубочки, а по периферии – 9 дублетов. Микротрубочки жгутика присоединяются к базальному тельцу – кинетосоме, которая состоит из 9 триплетов микротрубочек. Даже если жгутики исчезают, кинетосомы остаются и функционируют в качестве центриолей. Например, все клетки (в том числе и безжгутиковые) многоклеточных животных обладают двумя рядом расположенными центриолями. Именно они организуют веретено деления, благодаря которому достигается правильное распределение хромосом в митозе и мейозе.

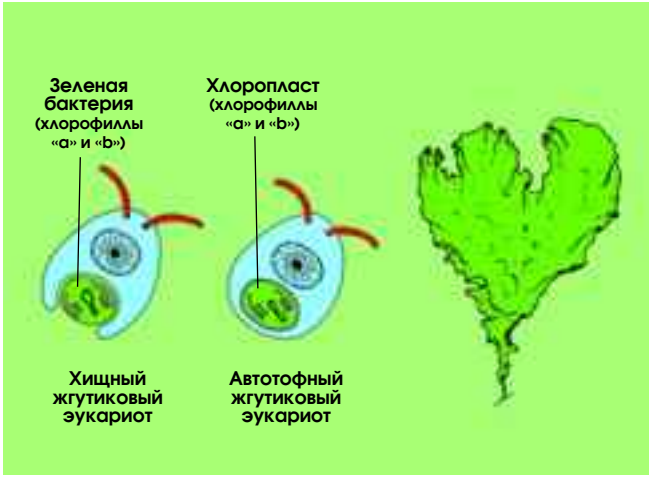
Жгутики не отделены от цитоплазмы мембранами, никаких препятствий для перехода белков из цитоплазмы в жгутик нет, поэтому большинство белков жгутика кодируются в ядре клетки. В то же время внутри базального тельца жгутика есть маленькая кольцевая молекула ДНК, которая содержит несколько генов, контролирующих формирование базального тельца. Дело в том, что центриоли (базальные тельца) не возникают в клетке на пустом месте. Перед делением две центриоли расходятся и рядом с каждой из них формируется новая. Таким образом, для синтеза очередного органоида необходима «затравка» в виде старого.

Предполагается, что предками жгутика были бактерии, напоминающие современных спирохет, подвижных бактерий, чьи узкие спирально закрученные клетки быстро движутся, как бы ввинчиваясь в пространство. Правда, сами они никак не могли быть предками жгутиков: в них нет микротрубочек, а тонкое строение совершенно иное. Но это вовсе не означает, что в далеком прошлом не было других спирохетоподобных организмов, которые и стали предком эукариотного жгутика. По-видимому, его прародители сначала были экзосимбионтами, то есть прикреплялись к цитоплазматической мембране примитивного эукариота снаружи. Симбионт использовал для своего питания выделяемые хозяином метаболиты, а взамен благодаря своей локомоторной активности способствовал его быстрому (по сравнению с формированием псевдоподий) перемещению. Именно такое взаимодействие сформировалось между спирохетами и некоторыми крупными простейшими. Симбиотические спирохеты сидят на поверхности жгутиконосца *Myxotricha paradoxa* (который имеет и обычные жгутики), их движения согласованны, как у настоящих ресничек, а локомоторная активность обеспечивает плавное и постепенное движение жгутиконосца, тогда как собственные жгутики позволяют ему совершать лишь быстрые движения вперед по спирали. Любопытно, что для большего удобства прикрепления спирохет клетка хозяина любезно образует специальные уплотненные «подставки», от которых внутрь цитоплазмы хозяина идут пучки фибрилл, напоминающие корешки настоящих жгутиков и ресничек. Этот пример показывает, что симбиоз между подвижными бактериями и эукариотами может возникать неоднократно.

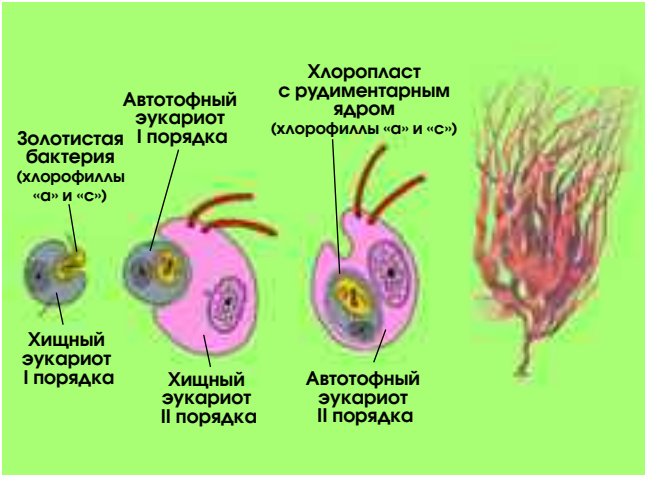
Происхождение эукариотных растений

Первичные эукариоты были одноклеточными животными. Они питались, захватывая и переваривая другие

Иллюстрации предоставлены автором статьи



Происхождение хлоропластов зеленых водорослей и высших растений путем симбиоза с зелеными бактериями.



Происхождение хлоропластов криптомонад, золотистых и бурых водорослей путем двойного симбиоза: сначала хищный эукариот вступил в симбиоз с золотистыми бактериями, а потом сам стал симбионтом другого хищного организма.

микроскопические организмы. Одним из магистральных направлений их эволюции стало приобретение фотосинтезирующих симбионтов, которые превратились в органеллы, обеспечивавшие синтез органических веществ из углекислого газа и воды за счет энергии солнечного света. Этот путь привел к появлению различных групп эукариотных растений, то есть автотрофных фотосинтезирующих организмов. Они не родственны друг другу и возникли в результате симбиоза хищных протистов (простейших или их колоний) с различными фотосинтезирующими организмами.

В нескольких случаях симбионтами хищных эукариот стали цианобактерии – сине-зеленые водоросли, самая распространенная (по крайней мере в современной биосфере) и, возможно, самая древняя группа фотосинтезирующих прокариот. Их несомненными потомками являются фотосинтезирующие органеллы (хлоропласты) красных водорослей. Они окружены только двумя мембранами, имеют собственную кольцевую ДНК и рибосомы прокариотного типа и содержат типичные для цианобактерий хлорофилл «*a*» и специфические пигменты цианобактерий – фикобилины. Красные водоросли в настоящее время широко распространены в морях нашей планеты. Они способны существовать на глубинах в несколько сот метров, но живут и в приливно-отливной полосе, а некоторые виды обитают и в пресных водах. Возможно, красные водоросли – самая древняя группа эукариотных растений. Об этом говорит полное отсутствие в их жизненном цикле жгутиковых стадий (даже их сперматозоиды – безжгутиковые), что позволяет предположить, что предки этих водорослей отделились от остальных эукариот еще до приобретения жгутиков.

Впрочем, красные водоросли – не единственная группа, использующая потомков цианобактерий в качестве симбионтов. У одноклеточных жгутиконосцев – глаукофитов (совсем не родственных красным водорослям) фотосинтезирующие органеллы так и называются – цианеллы. Они даже сохраняют характерную для цианобактерий муреиновую оболочку (т.е. механически прочный элемент клеточной стенки). Тем не менее цианеллы – настоящие симбионты, которые не могут жить отдельно от хозяина. Даже их геном – кольцевая ДНК – приблизительно в 10 раз короче, чем у свободноживущих цианобактерий. Это означает, что и в данном случае значительная часть белков цианелл кодируется в ядерном геноме хозяина.

Хлоропласты зеленых водорослей (хлореллы, хламидомонады, вольвокса и др.) – тоже потомки фотосинтезирующих прокариот. Они окружены двумя мембранами, содержат кольцевую ДНК и собственные рибосомы прокариотного типа. Однако набор хлорофиллов у них совсем другой – это хлорофиллы «*a*» и «*b*», а фикобилинов нет. Значит, предками хлоропластов зеленых водорослей не могли быть цианобактерии. Долгое время свободноживущие бактерии с хлорофиллами «*a*» и «*b*» не были известны. Лишь в последние два десятилетия были обнаружены представители особой группы прохлорофитов – *Prochloron* и *Prochlorotrix* – с таким же набором хлорофиллов. Прохлорон представляет собой крупную шарообразную бактерию, живущую в тунике колониальных асцидий, а прохлоротрикс – нитчатая пресноводная форма. В настоящее время прохлорофиты – реликтовая группа, насчитывающая всего несколько видов, но в далеком прошлом они, вероятно, играли в биосфере значительную роль. Вполне возможно, что древние прохлорофиты участвовали (наряду с цианобактериями) в построении строматолитов. Тог-

Иллюстрации предоставлены автором статьи

да же они вступили в симбиоз с предками зеленых водорослей. Значение этого союза тем более велико, что потомки зеленых водорослей – высшие растения – унаследовали хлоропласты с двумя мембранами и хлорофиллами «*a*» и «*b*». Таким образом, в зеленой иголочке сосны или блестящем листе фикуса сохранились потомки древних прохлорофитов, превратившихся в хлоропласты.

Мир эукариотных растений отнюдь не ограничивается красными и зелеными водорослями. В современной биосфере процветают различные группы организмов с золотисто-бурыми хлоропластами. Одноклеточные и колониальные диатомовые водоросли, клетки которых защищены кремнеземным панцирем, господствуют в Мировом океане, населяют пресные воды и влажную почву. Прибрежная зона моря заселена бурыми водорослями – фукусами, ламинариями и саргассами (последние могут выживать и в открытом океане – вспомните Саргассово море). Среди бурых водорослей встречаются настоящие гиганты. Например, у тихоокеанского побережья Южной Америки обитает самый крупный растительный организм планеты – макроцистис, достигающий 150 м в длину. В планктоне морских и пресных вод распространены фотосинтезирующие жгутиконосцы – золотистые водоросли и криптомонады.

Хлоропласты золотистых, диатомовых и бурых водорослей содержат хлорофиллы «*a*» и «*c*» и почему-то окружены 4 мембранами. Их происхождение помогло понять строение криптомонад – небольшой группы жгутиконосцев, хлоропласты которых тоже имеют хлорофиллы «a» и «c», окружены 4 мембранами, причем между второй и третьей имеется маленькое эукариотное ядро – нуклеоморф, а внутри пространства, ограниченного последней, четвертой мембраной находится кольцевая ДНК. Такое строение позволяет предполагать, что хлоропласты криптомонад возникли в результате двойного симбиоза. Сначала некий хищный протист приобрел в качестве симбионта золотистую бактерию с хлорофиллами «*a*» и «*c*», а потом сам стал симбионтом криптомонады. В хлоропластах бурых, диатомовых и золотистых водорослей нуклеоморфа уже нет, хотя они по-прежнему окружены 4 мебранами, что говорит о более глубокой интеграции симбионта и хозяина.

Хлоропласты приобретены различными группами эукариотных растений независимо друг от друга, и предками хлоропластов были разные свободноживущие организмы: в одних случаях ими были бактерии (зеленые или сине-зеленые), а в других – эукариотные простейшие.

Вместо заключения

Эукариотные организмы – простейшие, различные группы растений, грибы и многоклеточные животные – доминируют в современной биосфере. Однако все они несут в своих клетках симбионтов – потомков древних свободноживущих бактерий. Только благодаря им эукариотные организмы способны жить в кислородной атмосфере и использовать энергию солнечного света для синтеза органических веществ. Так может быть, на самом деле эукариоты вовсе не доминируют в биосфере, а им это только кажется? Сторонник теории симбиогенеза американский биолог Л. Томас как-то сказал: «Обычно на митохондрии смотрят как на порабощенные существа, взятые в плен, чтобы снабжать АТФ клетки, и не способные дышать самостоятельно. С этой рабовладельческой точки зрения смотрят на дело и солидные биологи, которые сами – все эукариоты. Но с точки зрения самих митохондрий они – существа, которые давным-давно нашли для себя лучшее из возможных пристанищ, где можно жить, затрачивая минимум усилий и подвергаясь наименьшему риску».

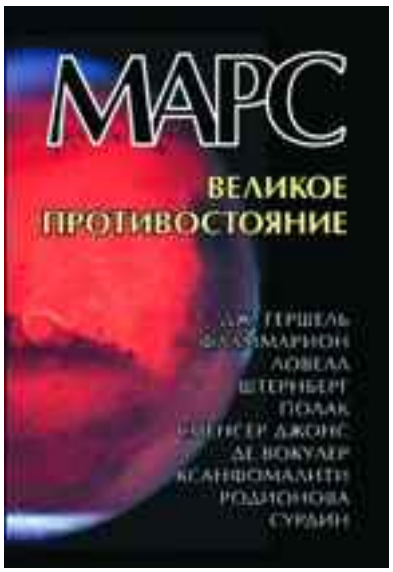
Мы не должны забывать, что в каждой клеточке нашего тела живут крошечные потомки древних оксифильных бактерий, которые прокрались в организм наших далеких предков 2 млрд. лет назад и продолжают существовать в нас, сохраняя собственные гены и свою особую биохимию. Другая цитата Л. Томаса: «Вот они движутся в моей цитоплазме, дышат для нужд моего тела, но они – чужие. Мне жаль, что я не могу познакомиться с моими митохондриями поближе. Когда я сосредоточусь, я могу представить, что ощущаю их; не то чтобы я чувствовал, как они извиваются, но время от времени я воспринимаю какой-то трепет. Я не могу отделаться от мысли, что если бы я знал больше о том, как они достигают такой гармонии, я бы по-другому понимал музыку». ■

ОБ АВТОРЕ:

Малахов Владимир Васильевич, профессор кафедры зоологии беспозвоночных МГУ, автор 190 публикаций. Область научных интересов – сравнительная анатомия и эмбриология беспозвоночных. Действительный член Российской Академии естественных наук, член-корреспондент Российской Академии наук.

ОЧЕВИДНОЕ
НЕВЕРОЯТНОЕ
«Очевидное–невероятное»
Смотрите в феврале по понедельникам в 00.30 на канале ТВЦ

ЗАГАДКИ МАРСА



На заре XXI в. после долгого латентного периода началась эпоха планомерного изучения Марса, этой загадочной планеты, так похожей на Землю и так разочаровавшей землян отсутствием марсиан. О Марсе сегодня известно больше, чем о дне Мирового океана или поверхности Луны, и чем детальнее мы изучаем его, тем больше обнаруживается интересного для специалистов самых разных профессий. Знакомство с планетой можно начать с книги «Марс: великое противостояние». В самом названии заключено сразу несколько драматических марсианских тем: противостояние энтузиастов и скептиков в отношении марсианских каналов, противостояние фантазии и фактов по поводу жизни на Марсе, наконец, противостояние астрономов и астрологов, обострившееся в год Величайшего противостояния Марса. Для космической науки начинается счастливый период: новые мощные автоматы изучают поверхность и окрестности планеты, обещая много интересных и неожиданных находок. Следить за их работой помогут включенные в книгу карты Марса, созданные американскими и российскими специалистами. Представлены также изображения поверхности планеты, ее рельефа, приведены списки наиболее примечательных деталей поверхности, указано расположение самых крупных образований, в частности, всех кратеров диаметром более 100 км, новейшие топографические карты планеты и фотографии, полученные в период великого противостояния Марса в августе 2003 г. Книга рассказывает всю историю открытия и изучения марсианских «каналов», по сей день хранящих свою загадку.

В работе использованы труды классиков изучения Марса: Никола Камиля Фламмариона, Персиваля Ловелла, Жерара де Вокулера, Джона Гершеля, Гарольда Спенсера Джонса, российских астрономов Павла Карловича Штернберга и Иосифа Федоровича Полака. Современная работа над картами Марса и поиском воды на его поверхности описана в статьях российских астрономов Жанны Федоровны Родионовой и Леонида Васильевича Ксанфомалити, известных любителям астрономии своими научно-популярными книгами и статьями. История противостояний Марса и его изучения автоматическими аппаратами рассказана составителем книги Владимиром Георгиевичем Сурдиным.

Книга предназначена для читателей, интересующихся астрономией и космонавтикой. Она будет полезна также преподавателям астрономии. ■

Ред.-составитель В.Г. Сурдин «Марс: великое противостояние» – М.: Физматлит, 2003. – 224 с. + карты.

В НАЧАЛЕ БЫЛО СЛОВО...

Если первое сознательно произнесенное слово возвысило человека над прочими обитателями планеты, то первые написанные буквы стали началом культурного прорыва, совершенного человечеством за последние несколько тысяч лет. Письменность обогатила человечество духовной культурой, на которой зиждятся величайшие религии мира и государственное право, ей мы обязаны развитием наук и своими познаниями в области истории. Уже древние отдавали себе отчет в значении письменности: во многих верованиях алфавит – дар богов. Почитаемы и причислены к лику святых изобретатели славянской письменности Кирилл и Мефодий, создатели армянской азбуки святой Месроп и католикос Сахак.

Данная книга посвящена увлекательной, порой драматичной, полной кропотливой работы и внезапных озарений истории прочтения древних надписей: египетских иероглифов, персидской и месопотамской клинописи, тюркских рун, письменности этрусков и т.д. Отдельная глава посвящена попыткам и идеям создания универсального языка.

Издание представляет интерес для широкого круга образованных читателей. ■



«История письма: эволюция письменности от Древнего Египта до наших дней». Пер. с немецкого. Составление К.Королева. – М.: Эксмо; СПб.: Terra Fantastica, 2002. – 400 с.

Сладкоголосые

ПТИЦЫ ПСЕВДОНАУКИ

По материалам беседы с Э.П. Кругляковым



Сегодня лженаука проникла даже в органы государственной власти, где начинает завоевывать прочные позиции.

Одна из передач «Очевидное–невероятное» была посвящена именно невероятному – псевдонауке, лженауке и тем мистическим представлениям об окружающем мире, которые заполонили в последние годы отечественное информационное пространство. Профессор Сергей Петрович Капица и известный специалист в области плазменной физики академик Эдуард Павлович Кругляков, сотрудник Новосибирского института ядерной физики имени Г.И. Будкера и глава Комиссии по борьбе с лженаукой и фальсификацией научных исследований при Академии наук, постарались разобраться в потоке сомнительной информации в области медицины, взглядов на природу вещей и самого человека. Почему сегодня в умах царит такое смятение? Что мешает формированию правильного общественного сознания в нашей стране?

Комиссия

Комиссия по борьбе с лженаукой существует уже пять лет. Она была создана в тот период, когда в средствах массовой информации царила полная вакханалия, когда под видом научных данных печатались всевозможные материалы, никакого отношения к истинному знанию не имеющие, с экрана телевизора вещали маги, экстрасенсы, колдуны и целители, которые «заряжали воду», «давали установки» на здоровье и счастье, воздействовали на людей неведомыми «полями» и т.д. К их хору присоединились проповедники различного толка, Свидетели Иеговы и т.д. Печатные издания полнились сообщениями о необъяснимых явлениях, контактах с инопланетянами и тому подобными сенсациями. Создавалось впечатление, что фундаментальной науки в России нет, а СМИ пестрят «сказочной» информацией, сбивающей людей с толку. Процветали мистические и лженаучные представления, а серьезным ученым путь на страницы газет и журналов, а особенно на телевидение, был заказан. Сейчас ситуация коренным образом меняется, в том числе благодаря работе комиссии и возросшему интересу в обществе к подлинно научной информации.

На гребне волны

Недавно в газете «Известия» была опубликована статья, подписанная четырьмя членами комиссии – академиками Евгением Александровым, Виталием Гинзбургом, Владимиром Фортовым и гостем передачи Эдуардом Кругляковым. Она появилась в ответ на ранее помещенный в той же газете материал о том, что в кругах, близких Министерству обороны, существует центр научной астрологии. Это стало ярким примером того, какое влияние астрология и лженаука оказывают на сознание людей, и потребовало своего осмысления. В былые времена мистика, магия, ворожба, колдовство, привороты царили в гостиных бездельников, дамских салонах да среди неграмотного крестьянства. «Тайными знаниями» торговали вразнос убогие старушки, темные личности, «божьи люди» и «пророки», якобы читавшие по звездам человеческие судьбы, изрекавшие пророчества и грозившие Апокалипсисом.

К сожалению, сегодня лженаука проникла даже в органы государственной власти, в том числе и силовые министерства, где начинает завоевывать прочные позиции. Так, Сергей Шойгу признал однажды, что Министерство по чрезвычайным ситуациям пользуется советами астрологов. А в некой военной части на полном довольстве и под большим секретом служат колдуны. Колдовство и шаманизм – очень древняя часть человеческой культуры, ей около ста тысяч лет, но архаичные формы познания мира не должны подчинять себе сознание современного человека, подвигая его к регрессу. Впрочем, лженауками увлекаются не только у нас, но и во всем мире. Возможно, в России кризис общественного сознания и самого общества, наступившее после развала Советского Союза идеологическое безвременье, и как результат – вседозволенность, потеря моральных ориентиров привели к широкому распространению мистических представлений, позволяющих людям погружаться в свой собственный мир, уходить от проблем реальной действительности. А между тем, еще Цицерон говорил, что в астрологии нет содержания.

Звездные барыши

Сегодня благодаря современным средствам связи и компьютерным программам у астрологии помимо идеологической появилась еще и экономическая почва. Впрочем, предсказатели никогда не бедствовали. Величайший астроном Кеплер не брезговал и астрологией, хотя, судя по сохранившимся свидетельствам, сам в нее не верил. Он просто пользовался легковерием людей и их стремлением заглянуть в будущее, чтобы заработать на жизнь, тем более что ни математика, ни астрономия прибыли не приносили. Современный американский астролог и астроном Карл Саган утверждал, что в США на 15 тысяч астрологов приходится 1 тысяча астрономов, причем, последние живут значительно беднее, чем первые. Таким образом, в современном мире мало что изменилось со времен Средневековья, и на первый план, как всегда, выходит экономический интерес. Астрология начала приносить баснословные прибыли и превратилась для многих в нечто наподобие морального наркотика.

Поверив в предсказания, человек невольно начинает «подтасовывать» факты своей жизни, сверяясь с предначертанием звезд, покорно ждет свершения своей судьбы, не прикладывая никаких усилий для осуществления планов или предотвращения напасти – мол, чему быть, того не миновать.

Временные близнецы

Англичанами был проведен блестящий эксперимент, в котором участвовали две тысячи так называемых временных близнецов, т.е. людей, родившихся практически одновременно (даже если считать от момента зачатия, то в масштабе девяти месяцев погрешность будет несущественной). Согласно астрологическим представлениям, они должны быть близки по чертам характера, склонностям, страдать определенными болезнями, обладать сходными привычками и умственными способностями. В расчет принимались более ста параметров, но никаких соответствий обнаружено не было. Многократно повторенный чистый научный эксперимент доказал ложность теории влияния звезд на личность и ее судьбу. И тем не менее, астрология пробралась не только в Министерство обороны и МЧС, но и в правоохранительные органы. Например, в НИИ МВД в Москве на одном из совещаний на полном серьезе говорилось о том, что раскрытие серийных убийств осложняется, в частности, высокой степенью защиты «индивидуальных программ» преступников, заданных датой их рождения и расположением светил в момент совершения преступления. Таким образом, задержать и изобличить злодея можно только после того, как закончится время действия его «криминальной программы». Большей глупости нельзя придумать, однако подобные мысли зачем-то внушают работникам правоохранительных органов, призванным защищать граждан от покушений на их жизнь и имущество. Означает ли вышесказанное, что можно не ловить серийных убийц, а опустить руки и смиренно ждать, когда звезды станут благосклонны к сыщикам и отвернутся от преступников? Если ежедневно в определенный момент времени под определенными созвездиями рождается около 300 тысяч человек, которым «на роду написано» стать убийцами, неужели все они ими станут? Сколько же тогда их должно быть в мире? И повинны ли они в своих злодеяниях, если действиями и судьбами как преступников, так и их жертв управляют всесильные небесные светила? Ответы на эти вопросы очевидны, однако настораживает то, что солидные люди и целые организации склонны прислушиваться не к голосу науки и здравого смысла, а наслаждаться пением сирен псевдонауки (см. журнал «В мире науки», №1/2003, статья М. Шермера «Даже умные люди имеют предрассудки»).

Отчего поют сирены

Возможно, над людьми довлеют культурные традиции и система представлений, неверно отражающая объективные процессы, происходящие в окружающей действительности. Кроме того, человек, будучи не в силах противостоять реальности, стремится укрыться от нее. Не следует также забывать, что астрономия – родная дочь астрологии. Несмотря на то что публика нынче весьма изощренная и даже просвещенная, псевдонаучные представления распространились не только в области астрологии, но и в медицине, где людьми, лишенными серьезных знаний и порядочности, движет жажда наживы. Самозваных медиков мало волнует здоровье людей, их цель – не лечить, а получать прибыль.

Одна из причин распространения лженаук – низкий уровень образованности общества, в том числе чиновничьего аппарата. Помимо откровенных злоупотреблений нередко приходится сталкиваться с элементарной безграмотностью. В России у ложных знаний и псевдоизобретений два союзника – невежество и коррупция. Последняя распространена во всем мире, но наши соотечественники разработали самые изощренные и действенные способы наживы на околонаучных изысканиях. Одна из наиболее распространенных схем строится на так называемом откате. Суть в том, что под некий проект выделяются значительные денежные средства, и, вне зависимости от реальных результатов, немалая часть суммы возвращается в виде неучтенных наличных денег тем, кто лоббировал идею. С такими нарушениями должны бороться уже не ученые, а правоохранительные органы.

Реклама и ответственность

В 40-м номере газеты «Аргументы и факты» за 2002 г. рекламировался некий препарат, именуемый «бионормалайзер», который якобы подавляет вирусы гепатита, препятствует развитию цирроза и рака печени, нормализует клиническую картину крови и общее самочувствие. Но, как выяснилось, чудо-средство – простая биологическая добавка, а это означает, что на его продажу (в отличие от лекарства) не требуется специального разрешения, следовательно, никаких клинических испытаний его действия проведено не было. Принесет ли такой препарат пользу – большая загадка. Лишь бы не навредил.

Огромное количество заведомо ложной информации существует главным образом потому, что законы у нас несовершенны и плохо работают. Стране необходим закон о недобросовестной рекламе. Причем уголовную ответственность за ложную информацию должны нести не только рекламодатели, но и СМИ. Кроме того, когда материал печатается на правах рекламы, читатели (зрители, слушатели) должны быть уведомлены об этом. Впрочем, необходима ответственность не только за рекламу, но и за размещаемые материалы, касающиеся новых научных идей и открытий. Тем более, что СМИ в силу традиционного доверия к ним могут сыграть важную роль в популяризации подлинно научных концепций. Однако журналисты в большинстве своем не обладают (да и не должны обладать) необходимыми специальными знаниями, а потому в погоне за сенсацией нередко попадаются на уловки «непризнанных

гениев» от науки, которые легко пробивают себе дорогу на страницы газет и журналов и на экраны телевизоров.

А судьи кто?

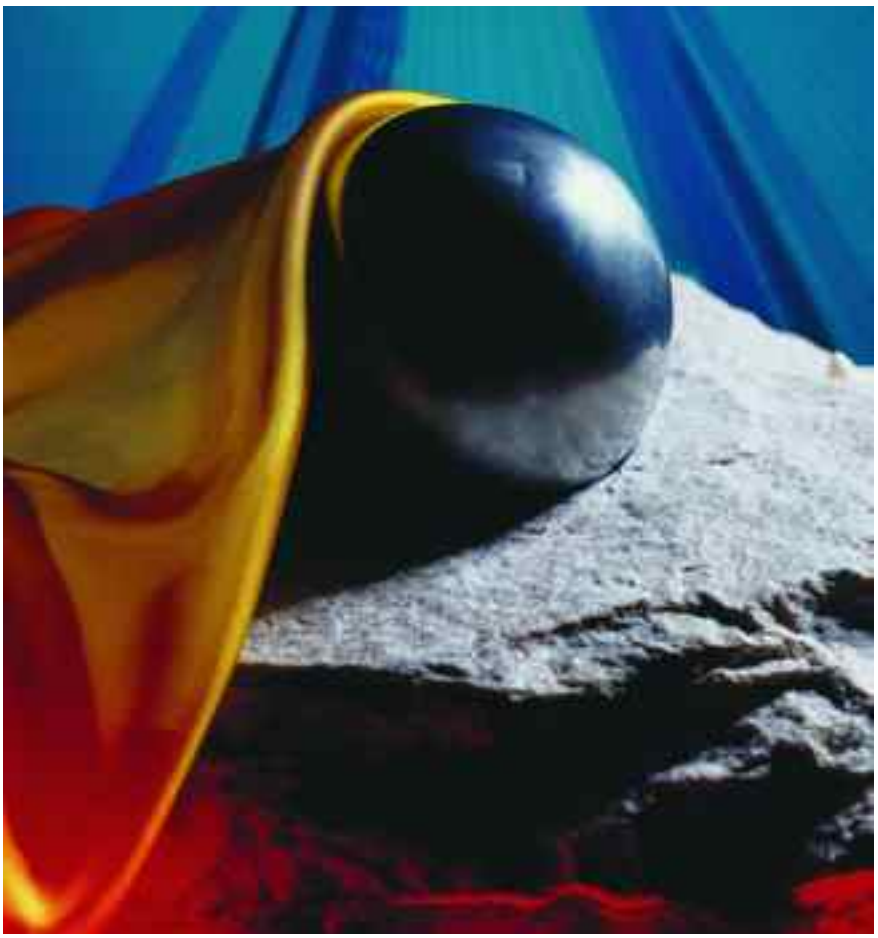
Судьями в споре о степени достоверности научной информации чаще всего оказываются те, кто менее всего способен авторитетно судить о подлинности научных открытий. В оценке неведомых препаратов и приборов, поступающих в продажу, должны принимать участие ученые. Физики, например, могут судить, насколько полезен тот или иной аппарат или излучаемые им волны. Так, абсурдно утверждать, что можно лечить больных с помощью генерируемой неким прибором гравитационной волны или циркониевых браслетов. Однако физики не в состоянии определить, как влияют на людей, например, магнитные браслеты. Это могут сделать только медики после проведения соответствующих исследований. Периодически сообщается о магнитных бурях, которые якобы негативно влияют на физическое состояние людей, существует даже определенное число магнито-чувствительных граждан. Может быть, это так, а может – всего лишь искусственно нагнетаемый психоз. Отвечать на подобные вопросы должны медики – члены комиссии. К сожалению, до сих пор Российская Академия медицинских наук безмолвствует. В комиссии пока нет ни одного ее представителя, но лед тронулся. После сделанного 27 мая 2003 г. на заседании президиума РАН доклада о реальном положении дел в области распространения лженаучных представлений появилось огромное количество желающих (в том числе среди биологов и медиков) войти в состав группы. Как ученые, так и простые люди начинают понимать опасность распространения псевдонаучных идей, выдаваемых за лекарства «чудодейственных» препаратов, самолечения, обращения к экстрасенсам и т.д.

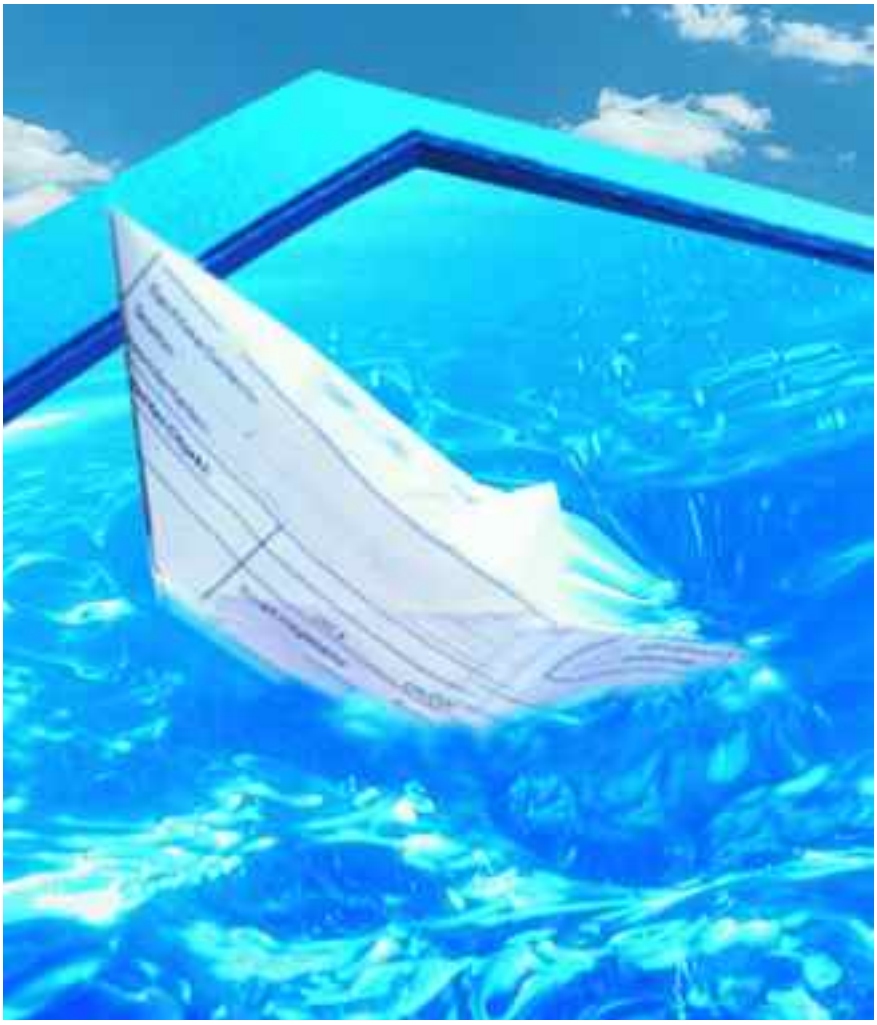
Речь идет не только о науке, медицине и ошибочных представлениях о мироздании, но и об этических и нравственных аспектах вопроса.

Остапы Бендеры от науки

Наша лженаука – лучшая в мире! Последнее время основные псевдонаучные представления распространяются по миру именно из России. Например, вдруг появилось сообщение о тепловых генераторах – замкнутых контурах с водой, своего рода вечных двигателях. Их изобретатели обещали дать до 300% КПД, а самые смелые – даже 1000%. Неясно, почему они не хотят замкнуть цикл и вырабатывать бесплатную электроэнергию. Не нужно будет ни нефти, ни газа, ни угля, никаких альтернативных источников энергии. Это выглядит неправдоподобно, но один из агрегатов уже был продан за солидные деньги в Южную Корею. Идеи наших торсионных дел мастеров пробрались в Болгарию (афера с торсионными полями, на которую были израсходованы огромные средства, возникла еще в советские времена), чье правительство вполне серьезно рассматривало вопрос о переводе энергетики страны на новый топливный цикл, на тепловые генераторы. Общими усилиями болгарских и русских ученых с трудом удалось убедить руководство государства не делать столь опрометчивого шага. Конечно, можно понять политиков и бизнесменов, которые стремятся рационально расходовать денежные средства, делать выгодные инвестиции, в свете чего экономия энергии становится очень актуальной. Но нельзя совершать необдуманных действий. В конечном счете от тепловых генераторов в Болгарии отказались. Зато в нашей стране этот бизнес весьма успешно развивается.

В Лондоне известен случай, когда адмирал английского флота в отставке, заведовавший научно-техническим отделом флота, выделил порядка $100 000 из собственных средств,





чтобы помочь некоему американцу Мейеру довести до конца его изобретение – приспособление к двигателю внутреннего сгорания, которое позволило бы извлекать так называемую нулевую энергию из бензина, т.е. заправлять мотор не бензином, а водой. Чуда не произошло, деньги пропали, через два года бедный адмирал скончался, а судьба американского «кулибина» неизвестна.

В Англии произошла еще одна забавная история, связанная с нашими аферистами. В России в последние годы появилась так называемая микролептонная технология исследования недр. Речь идет о разведке нефти, газа и залежей полезных ископаемых, причем некоторые области нашей страны уже включились в эту авантюру и оплатили ее. Физикам, да и образованной части общества известно, что частиц, называемых микролептонами, не существует. Однако неожиданно выяснилось, что некая фирма *Tiel* с русскими корнями пыталась приобрести лицензию на нефтяную разведку в Англии, где, по мнению специалистов, нефти отродясь не было. Управляющий компании, стремясь убедить недоверчивых британцев, поведал им, что новый метод основан на явлениях, сходных с теми, которые открыл нобелевский лауреат Мартин Перл. Когда ученому об этом сообщили, он возмутился и заявил, что никаких микролептонов нет, а есть лишь открытые им тау-лептоны. Началось судебное разбирательство, была создана комиссия, которая установила «автора» идеи – господина А. Охатрина. По мнению членов комиссии, английская лицензия требовалась аферистам в качестве «охранной грамоты» и свидетельства благонадежности, что позволило бы беспрепятственно торговать «открытием» в странах третьего мира, а заодно и в России. Кстати, российскому правительству некая «группа товарищей» уже предлагала заняться исследованиями дна Каспия по этой технологии. Причем, как они утверждали, стоимость работ составила бы всего 5–6 тысяч рублей за квадратный километр; за год можно было обследовать до 100 тысяч км^2, итого потребовалось бы порядка 0,5–0,6 млрд. рублей из государственного бюджета.

«Целитель» из Новосибирска придумал нейтринный генератор, с помощью которого лечит онкологических больных. По его словам, уже после первого сеанса облучения опухоль становилась на 30% меньше. Однако горе-разработчик упустил из виду, что нейтрино – всепроникающие частицы. Рожденные в недрах Солнца, они вырываются на поверхность и мощным потоком свободно проходят сквозь любые препятствия. Чтобы «поймать» нейтрино, физики строят мощнейшие установки, а захватить удается лишь единицы. Поэтому накапливаться в организме человека (а именно в этом суть облучения) они никак не могут.

Впрочем, изобретатели-одиночки не так опасны, как те, кому удалось пробраться во властные структуры. Наука для них хобби, которое никому не приносит вреда. Недавно стало известно о сельском исследователе, который «отменил» Ньютона и Эйнштейна, построил новую теорию тяготения и даже «открыл» антигравитацию. Конечно, путь проб и ошибок – один из главных маршрутов познания. Но беда, если псевдонаучные представления превращаются в организованную систему, финансируемую за счет бюджета. Во-первых, таким образом подрывается вера в способность руководства эффективно распоряжаться государственными средствами. Во-вторых, дискредитируется подлинная наука.

Четыре признака лженауки

Существует ряд признаков, по которым можно «диагностировать» лженаучные изобретения и псевдонаучные взгляды. Во-первых, авторы подобных разработок охотно используют сугубо научные и большинству неизвестные термины. «Лептонные поля», «нейтринное излучение», «торсионные поля» – все эти высокоумные понятия создают впечатление, что исследования находятся на передовом рубеже науки, а может быть, даже за гранью существующего понимания мира, и обещают несметные богатства, головокружительные успехи и немедленные результаты. Увы, на поверку это оказывается «наукоблудием». Реального содержания за упомянутыми терминами нет, хотя многие из них взяты из арсенала науки. Так, идеолог торсионных полей, господин А. Акимов, обещает заменить атомную, тепловую и прочие виды энергетики на торсионную.

Второй признак лженауки – секретность. Исследования и разработки ведутся под покровом тайны, что якобы связано с решением задач государственной важности. Никто не спорит – государственные тайны надо оберегать, но завеса секретности чаще всего опускается для того, чтобы не допустить вмешательства экспертов и разоблачения.

Третий признак лженауки – пренебрежительное отношение к предшествующим научным открытиям. Новые законы не должны отрицать предыдущие, они призваны обобщать и уточнять полученные ранее знания, т.к. все они – ветви одного древа познания. Так, с помощью релятивистской механики, являющейся составной частью теории относительности, можно описать все законы Ньютона. Однако расчет траектории космических кораблей осуществляется «по Ньютону», без обращения к теории относительности, т.к. скорости космических аппаратов в масштабах Вселенной слишком малы по отношению к скорости света. Когда мы имеем дело со скоростями, близкими к скорости света, приходится применять более сложную теорию, в которую органически входит предыдущая.

Адепты лженауки начисто отрицают преемственность научного знания и камня на камне не оставляют от предыдущих теорий. Пожалуй, самое интересное в науке то, что она отнюдь не является застывшей системой представлений – это живой развивающийся организм. Это также отрицается поборниками лженауки. Они охотно вспоминают, что в свое время буржуазной лженаукой считали генетику и кибернетику, однако эти штампы родились не в научной среде, а внедрялись работниками идеологического фронта. Между тем, нельзя путать объективные научные оценки с политическими клише.

Четвертым признаком псевдонаучных представлений можно считать бурление страстей вокруг очередной сенсации в средствах массовой информации на фоне полного штиля в научной среде.

Академики Е. Александров, В. Гинзбург и Э. Кругляков направили президенту России Владимиру Владимировичу Путину письмо, где поставили ряд принципиальных вопросов, касающихся науки. Речь, в частности, шла о том, что неоправданная секретность вредит развитию российской науки и внедрению передовых технологий. (К этим вопросам журнал «В мире науке» обращался не раз. См. статью Д. Дюпона «Университеты боятся превратиться в «почтовые ящики» в №1 и Ю. Рыжова «Еще раз о почтовых ящиках» в №5 за 2003 г.) Отмечалась в письме и необходимость тщательной экспертизы в тех случаях, когда государство намерено вложить деньги в новые проекты.

Что делать?

Прежде всего необходимо ввести научную экспертизу изобретений, которую должны осуществлять честные, не коррумпированные и достойные специалисты, благо таких у нас в стране много. Опираться на патентное бюро в данном случае не стоит, поскольку оно готово выдать патент на затею, если она озвучена впервые (к этой проблеме журнал «В мире науки» обращался не один раз). Не только у нас, но и в США регулярно официально патентуются всевозможные вечные двигатели. Тем более, что для этого не требуется доказательств работоспособности изобретения. По идее, прежде чем попасть в патентное ведомство, открытие должно быть подвергнуто научной экспертизе – тогда никаких недоразумений не будет. Впрочем, иногда вместе с водой выплескивают и ребенка. Например, недавно была вручена Нобелевская премия американцу за изобретение метода магнитной томографии. Однако доподлинно известно и документально подтверждено, что некий ленинградский радиофизик задолго до публикации результатов американских исследований разработал эту идею, которую наши эксперты отвергли. Это, конечно, досадный промах, но страшнее обратное, когда выдаются патенты на несуществующие открытия.

Сегодня можно говорить об утрате веры в знание, науку, в разум человека, в рациональность нашего существования. Не исключено, что в этом сыграли роль и крупномасштабные техногенные катастрофы, такие как Чернобыль, гибель «Челленджера». Но на самом деле это и есть передний край научного и технического прогресса, где никто не застрахован от ошибки, где находится грань риска, без которого нет движения вперед, – первооткрыватель, первопроходец всегда рискует. Сколько паровозов взрывалось, пока их научились строить? Сколько самолетов разбилось в ходе испытаний? Сколько кораблей погибло из-за неверных расчетов конструкторов? Это та страшная дань, которую человечество платит за свое благополучие. Как говорится, «и опыт, сын ошибок трудных, и гений – парадоксов друг». Это и есть подлинный путь развития науки. А лженаучные представления – всего лишь побочные дети познания, которые в ожидании подачки толпятся на обочине дороги. ■

ГВОЗДИ И СКОБКИ

Марк Фишетти

Значение гвоздей люди оценили еще во времена Древнего Рима, но широкое применение они получили только в последние сто лет. Многие годы эти скобяные изделия стоили очень дорого, потому что кузнецы выковывали их по одному и вручную. Из раскаленного докрасна железа вытягивался короткий прут, на одном конце которого молотом делалось острие, а на другом – шляпка. К концу 1700 г. была изобретена машина, нарезавшая гвозди из листового железа. К 1880 г. паровая машина позволила ускорить этот процесс, и изделия подешевели, однако их прочность была по-прежнему неодинаковой.

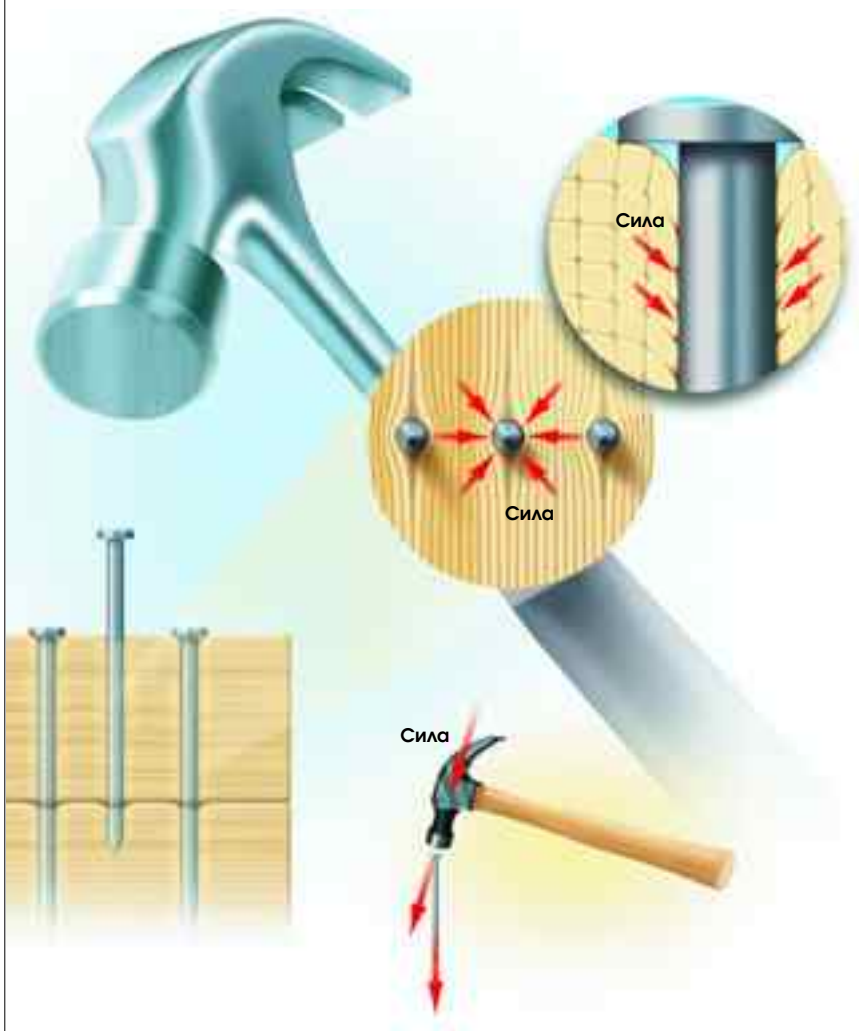
Положение изменилось в начале 1900 г., когда сталь стала и пластичнее, и прочнее. Машины стали нарезать гвозди из больших мотков стального прута, формируя острие и шляпку в один прием, что привело к разнообразию форм и улучшило их свойства.

Только трение о тело гвоздя удерживает вместе два куска дерева (см. рисунки справа) и позволяет изделию противодействовать воздействию вибрации или сжатий и растяжений волокон древесины, вызываемых колебаниями температуры и влажности. Так же действуют скобки для степлеров, представляющие собой пару ножек, соединенных перемычкой. Чтобы обеспечить прочное соединение, изготовители могут протравливать поверхность, формируя микроскопические ямки, или создавать на ней кольца либо насечку, улучшающие сцепление с волокнами древесины. Усиливать трение могут также некоторые покрытия, например смолы. «Изготовители делают различные заявления, но серьезных исследований влияния покрытий почти не проводилось», – говорит Рон Вольфе (Ron Wolfe), инженер-исследователь Лаборатории лесных продуктов США, Мадисон, шт. Висконсин).

Для большинства людей гвозди – вещь привычная, но их простая и вместе с тем эффективная конструкция делает их незаменимыми. ■

ГВОЗДЬ РАЗДВИГАЕТ плотные волокна древесины, сжимая их. Давление спрессованных волокон создает трение, удерживающее предмет на месте. Более длинное или толстое тело создает больше деформаций и поэтому удерживается прочнее.

ОСТРИЕ гвоздя сгибает клетки древесины по направлению движения. Чтобы вытащить скобяное изделие, необходимо усилие, достаточное для того, чтобы сломать эти клетки в направлении, противоположном их изгибу. Чем толще или длиннее его тело, тем больше площадь его поверхности и тем труднее его вытащить.



ЗНАЕТЕ ЛИ ВЫ...

• **4*D*, 8*D*, 12*D***: Столетия назад гвозди изготавливались вручную и были дороги. Плотник мог купить сотню этих скобяных изделий длиной 1 дюйм за один или два пенса. Цена ста штук обозначалась тогда буквой *d*. Десять десятков трехдюймовых гвоздей стоили 10*d*. Со временем цена сотни стала общепринятой мерой длины изделий от 2*d* до 60*d* (шестидюйм. гвозди). В странах, где приняты неметрические системы единиц, этот стандарт сохраняется до сих пор. Гвозди короче 2*d* называются брадами (*brad*), длиннее 60*d* – спайками (*spike*). И те и другие измеряются только в дюймах.

• **ОНИ НЕ ОДИНАКОВЫ**: Могут ли 10*d* марки *X* быть лучше 10*d* марки *Y*? Гвозди делаются из разных видов стали, и промышленность не заинтересована стандартизировать жесткость для них. Президент компании *Pacific Steel & Supply* в Калифорнии Майкл О'Коннор (Michael O'Connor) говорит, что торговые предприятия заказывают на заводах изделия, указывая содержание углерода: чем его больше, тем выше прочность стали на растяжение, но тем она и дороже. Гвозди для забивания ручным молотком в США сегодня практически не выпускаются (в отличие от тех, что фиксируются пистолетом). В основном они завозятся из Азии.

• **КОРРОЗИЯ**: От дождей шляпки ржавеют, окрашивая ржавчиной дома и кровельные материалы, поэтому для обшивки и наружных поверхностей следует применять оцинкованные изделия, гвозди из алюминиевых сплавов или нержавеющей стали. Для отделки строений популярна древесина, пропитанная медно-аммониевым или медно-хромовым арсенатом, – она не гниет. Однако эти соединения вызывают коррозию стали и цинка, поэтому, чтобы противостоять воздействию пропиток, стоит применять гвозди, изготовленные из меди, бронзы и нержавеющей стали.



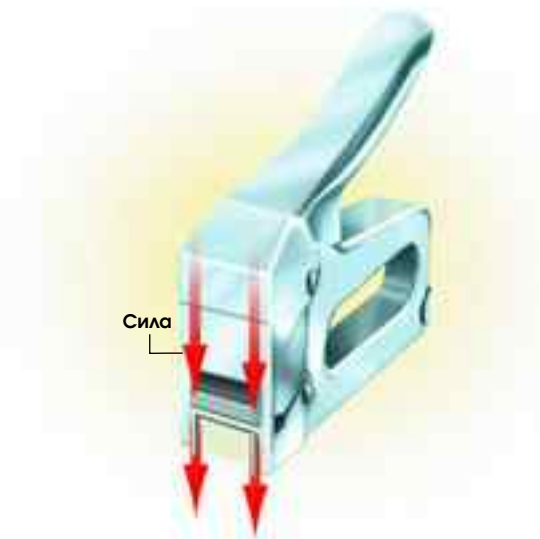
ЕСЛИ БЫ ЧЕЛОВЕК мог бить молотком строго параллельно оси, гвозди бы гнулись очень редко. Однако отклонение направления удара всего на несколько градусов создает значительное боковое усилие, сгибающее его.

ПЛОСКАЯ ШЛЯПКА несколько увеличивает обжимающее усилие. Коническую и потайную шляпки можно глубоко загнать в поверхность и для красоты закрыть.

ГВОЗДИ, имеющие тела с кольцами, насечкой или резьбой, удерживаются прочнее, чем обычные, с гладкими телами, так как неровности их поверхности сцепляются с волокнами древесины.

ИЗДЕЛИЯ с заостренным концом с большей вероятностью расщепляют древесину. Тупой – ломает волокна, что снижает риск расщепления древесины, а также уменьшает число волокон, создающих давление на тело. Граненый кончик – промежуточный между тупым и острым.

СКОБКУ легко согнуть пальцами. Но под нажимом степлера она не сгибается, поскольку направляющие позволяют приложить усилие точно в направлении ее ножек, а канал не дает им гнуться.



KENT SNODGRASS *Precision Graphics*

В ожидании старта

Уэйт Гиббз

Запуск ракеты – зрелище не для слабонервных.

Мыс Канаверал. Мне потребовалось полчаса, чтобы протиснуться через толпу до места, откуда можно было наблюдать за космическим кораблем. Чей-то локоть упирался в мою спину, а телеобъектив мешал обзору. Утешало лишь то, что я пробрался так близко к ракете, как если бы очутился на стартовой площадке *17-B*.

Совет первый для тех, кто хочет видеть запуск космического корабля: приезжайте пораньше. Займите место заранее, пусть даже, как в этот раз, запуск назначен на полночь и бушует гроза.

Старт неоднократно откладывался, но это не имеет никакого значения для тысяч людей, столпившихся на молу и прилегающих к нему пристанях в 4 км от авиабазы мыса Канаверал ВВС США. Освещенная прожекторами белоснежная ракета *Delta 2* напоминала птицу, трепещущую перед полетом в темное небо и бесконечность космических далей. До старта оставалось 30 минут. Все присутствующие возбуждены: космический аппарат должен был отправиться на Марс.

25 января 2004 г. марсоход, помещенный в носовую часть ракеты *Delta*, совершит мягкую посадку в своей воздушной подушке на Красной планете. Используя панорамную видеокамеру, микроскоп, бур, спектрографы и магнитный сборщик пыли, робот приступит к поиску следов воды в марсианской пустыне.





Новые экспозиции Космического центра им. Дж. Ф. Кеннеди представляют будущие экспедиции к Марсу (вверху), а также исторические экспедиции «Аполлонов» на Луну (справа).

Однако сначала ему неплохо было бы оторваться от Земли. За несколько минут до старта в запретной зоне заблудилась яхта – рулевой заснул за штурвалом. Запуск был перенесен на 00:37, но к тому времени поднялся сильный ветер, и он опять был отменен.

На следующий день инженеры обнаружили, что отклеились пробковые накладки на ракете. Старт был отложен еще на неделю. Но через семь дней я, к сожалению, уже был занят. Поэтому вот вам второй совет: покупайте авиабилеты, которые можно вернуть, и не расстраивайтесь, если ваши планы будут нарушены.

Все же я извлек пользу из своего путешествия, ознакомившись с Космическим центром им. Дж. Ф. Кеннеди, где узнал о проекте *Mars Exploration Rovers*. На осмотр постоянных экспо-

COURTESY OF KENNEDY SPACE CENTER

зиций, в частности «Сада ракет» (собрание исторических космических аппаратов), и прогулку вокруг копии космического челнока уйдет немного времени. Но потребуется целый день, чтобы ознакомиться с новейшими экспонатами центра.

Утро можно посвятить автобусной экскурсии. Первый объект осмотра – громадное здание цеха сборки космических аппаратов, через огромные двери которого можно свободно вкатить статую Свободы в полный рост. Затем автобус проезжает мимо гусеничных платформ, которые доставляют космические челноки к стартовым площадкам, транспортируя их со скорость 1,6 км/ч.

На меня огромное впечатление произвел новый музей «Сатурна-5». Даже если вы видели запуск «Аполлона» по телевизору, вам будет трудно представить устрашающие размеры этой отставной ракеты.

Два видеосюжета, демонстрируемые в театре здания, воссоздают историю полетов на Луну. Вы переживаете напряженные минуты перед первой посадкой на Луну, когда астронавты и руководители полета боролись с неисправностями компьютеров, нарушениями радиосвязи и большой навигационной неразберихой. Не меньшее впечатление на посетителей производит видеозапись старта «Аполлона», демонстрируемая в зале (точная копия отсека управления), где размещено настоящее оборудование. Сигнальные лампочки, видеоэкраны и звуковая дорожка синхронизированы с обратным счетом. Когда ракета на экране стартует, задние окна театра освещаются ярким пламенем, жалюзи дребезжат, что создает иллюзию реальности происходящего.

Все это еще больше разожгло мое желание увидеть запуск. Второй раз я очутился на моле Джетти-Парка в августе, приехав на место событий за четыре часа до старта, а не за полчаса, как раньше. Ко мне присоединились ученые, участвовавшие в конструировании телескопа *SIRTF*, который теперь находился в носовом конусе ракеты *Delta 2 Heavy*. *SIRTF*, телескопы *Hubble* («Хаббл») и рентгеновская обсерватория *Chandra X-Ray Observatory* («Чандра») станут завершающим этапом 20-летней программы «Великие обсерватории» *NASA*. (Комптоновский детектор гамма-излучения закончил свою работу и в июне 2000 г. был спущен с орбиты.)

Изображения в ИК-лучах, которые позволит получать *SIRTF*, добавят немало тем для полемики в научных кругах. «Атмосфера поглощает больше 99% ИК-излучения», – объяснил нам Дэвид Коул (David Cole), один из ученых, занимающихся телескопом. *SIRTF* поднимется выше шлейфа, тянущегося за Землей по ее орбите.

Через подзорную трубу было видно, как оседал иней на корпусе ракеты по мере того, как она заполнялась жидким кислородом. За 30 мин до назначенного момента старта небо оставалось ясным, дул слабый ветер. Напряжение нарастало.

Наконец мы дождались последней минуты, и начался обратный счет – толпа хором скандировала: «10, 9, 8... 3, 2, 1», затем возникла яркая вспышка, появился огненный шар, и огромные клубы пара окутали стартовую площадку. Раздался рев толпы восхищенных зрителей. Всех охватило ощущение нереальности происходящего.

Наконец мощный и глубокий звук пронизал пространство. Он скорее ощущался, чем слышался. Ракета легко прорвала тонкий слой облаков, словно воспламеняя их, и разогналась так быстро, что трудно было поверить, что ее вес – 283 тонны. Она устремилась к звездам, и мы видели, как погасли и отделились девять ее твердотельных ускорителей. Когда потух главный двигатель и вступила в работу вторая ступень, мы поспешили поздравить друг друга с удачным стартом.

Запуски космических челноков прерваны, по крайней мере, до будущей весны, но одноразовые ракеты будут регулярно отправляться в космос. ■



Первые секунды ракета стартовала под гром аплодисментов и приветственных возгласов, и лишь спустя время до зрителей дошел мощный и глубокий грохот запускаемого корабля.

COURTESY OF BOEING

угадай МЕЛОДИЮ

Фиона Харвей

Любители музыки могут теперь угадать песню с помощью мобильных телефонов.

Эта песня вам очень знакома, и вы ее уже слышали сотни раз. Название крутится на языке, но никак не приходит в голову.

Тут нам на помощь могли бы прийти новые технологии. Мелодии уже давно доступны в цифровом формате. Так нельзя ли идентифицировать мотив, сравнивая его с другими, хранящимися в музыкальном архиве? Увы, все не так просто. «Когда я приступил к изучению вопроса, меня убеждали, что это практически невозможно», – говорит Авери Ванг (Avery Wang), главный специалист *Shazam Entertainment*, английской фирмы, разрабатывающей программное обеспечение для распознавания музыкальных фрагментов,.

Проблема заключается в огромном количестве всевозможных нотных комбинаций. Подобная база была бы слишком велика даже для мощнейших программных алгоритмов. Некоторые исследовательские институты пытались угадывать мелодии, используя вероятностный анализ. «Каждая последующая проигрываемая нота может быть либо выше, либо ниже предыдущей, либо такой же», – объясняет Марк Сэндлер (Mark Sandler) из Колледжа королевы Марии Лондонского университета. «Таким образом, проанализировав последовательность нот большого количества музыкальных произведений, можно представить, как будет развиваться тот или иной мотив». Однако подобный анализ потребует много времени и усилий. Необходимо также принять во внимание возможные интерпретации композиции авторами, дирижерами и музыкантами, изменяющими темп и аранжировку, которые зачастую до неузнаваемости меняют основную тему. Кроме того, ставшее привычным использование музыкальных цитат в произведениях еще более затрудняет эту задачу. Тем не менее существенные шаги в этом направлении сделаны. В Англии *Shazam Entertainment* предлагает услугу по распознаванию мелодии с помощью сотовых телефонов. Для этого потребуется, набрав 4 цифры, войти в систему фирмы и поднести телефон к источнику звука на 15 секунд. Через несколько минут вы получите текстовое сообщение с названием песни и именем исполнителя. Каждый 15-секундный звонок стоит



А вот и ваша песня: поднесите телефон к источнику звука и получите сообщение с названием песни и именем исполнителя. Английская компания *Shazam Entertainment* выпускает систему по распознаванию мелодий с помощью сотовых телефонов.

JOHN FRASER

50 пенсов (около 75 центов), которые вносятся в ваш телефонный счет.

Автор идеи – американец Крис Бартон (Chris Barton), один из основателей *Shazam Entertainment*, замыслил этот проект еще во время обучения в Лондонской бизнес-школе. Ванг же работал над анализом и способами распознавания звуков в Стэнфордском университете, когда Бартон с ним познакомился и предложил свою идею. «Сначала я сопротивлялся, – признается Ванг, – такая сложная задача потребовала бы годы напряженного труда». Однако внезапно Ванга осенило: вместо того, чтобы высчитывать вероятную последовательность нот, он просто графически изобразил с имеющимися в базе данных. Ванг предлагает следующую аналогию: «Вообразите 306 миллионов «песенных» секунд, представленных в виде созвездий точек и распечатанных в длинную линию. Затем представьте, что комбинация точек короткого музыкального фрагмента, который вы хотите идентифицировать, отпечатана на полоске прозрачного пластика. Вы перемещаете его вдоль линии, пока не обнаружите совпадения».

Ванг оценивает вероятность ошибки менее чем в три миллионных, что означает: программа в состоянии опознать мелодию только на основании 1% материала. Чтобы поиск информации осуществлялся быстрее, база данных загружена в оперативной памяти на распределенной вычислительной системе из 70 компьютеров.

Shazam удобна в использовании, к тому же это весело. Я испытывала ее в кафе и барах, в людных торговых центрах, в автомобиле и дома. В большинстве случаев система определяла музыку, присылая мне текстовое сообщении с названием песни в течение 2–3 минут. Лучший результат я получала, когда звучание было наиболее чистым: по радио или из *CD*-плеера. Но система также опознала композицию группы *Blondie* «*Heart of Glass*», воспроизводимую магнитолой в такси, и песню «*Hey Jude*» *The Beatles*, доносящуюся из динамиков одного из лондонских супермаркетов. Я обнаружила, что чем меньше видимых помех между телефоном и источником звука, тем легче система распознает мелодию.

Музыкальная база *Shazam* в основном ориентирована на новинки, поэтому записи Блайнд Вилли Мактелла (Blind Willie McTell), исполнителя блюзов пятидесятых годов, поставили систему в тупик. *Shazam* до сих пор не включила и классические произведения, поскольку в компании полагают, что в основном услугой будут пользоваться молодые люди, которых интересуют шлягеры. Однако система не всегда справляется с задачей в шумных заведениях, где любят собираться поклонники музыки. Посторонние шумы могут стать большой проблемой, так как европейские сотовые телефоны фокусируются на наиболее громких звуках, теряя информацию, звучащую тише. Сложности возникают и когда диск-жокеи

Посторонние шумы могут стать большой проблемой, так как европейские сотовые телефоны фокусируются на наиболее громких звуках, теряя информацию, звучащую тише.

музыкальную частотность. Цифровые знаки при ключе, указывающие тональность и размер, уже были созданы при помощи домашнего компьютера и обыкновенных музыкальных программ. Однако такие «раскадровки» мелодии достаточно сложны, и для того, чтобы найти совпадение, требуется сравнить один график со всеми другими, что требует времени.

Задача Ванга состояла в том, чтобы устранить из знаков при ключе лишнюю информацию, сохранив при этом узнаваемость и уникальность всех фрагментов композиции. Для каждой песни он записал только максимальные и минимальные значения «музыкальной» кривой на 10-миллисекундном отрезке. На данный момент музыкальная база *Shazam* содержит более 1,7 миллиона таких записей. Когда пользователь прослушивает 15-секундный музыкальный фрагмент, система форматирует его относительно частотных экстремумов и сверяет его

ускоряют или замедляют звучание композиции, изменяя ее частотные характеристики. Для того чтобы решить эту проблему, в систему встроен специальный модуль, допускающий изменение темпа мелодии в пределах 10%.

Компания планирует в дальнейшем внедрить систему распознавания мелодий, которые напевают или насвистывают. Система *Shazam* начала работать в августе 2002 г. За это время ее услугами воспользовались более трехсот тысяч людей. В течение ближайших 12–18 месяцев компания планирует выйти на рынки Германии, США и некоторых стран Тихоокеанского бассейна. К тому времени музыкальная база *Shazam* должна стать еще обширнее, возможно, она даже научится распознавать Блайнд Вилли Мактелла. Развитием схожих технологий занимается и голландский гигант *Philips*, хотя и не уточняет сроков начала коммерческой эксплуатации. ■

попробуй НАПАДИ!

Дэннис Шаша

В подворотнях, в уголовном мире и на международной арене часто случается так, что одни субъекты пытаются силой отнять ценности у других. Соблазн атаковать особенно велик, если имеется численное превосходство, а объект нападения богат. Отдельные лица и группы могут объединить свои силы и образовать временную коалицию для отражения агрессии или для совместного нападения.

Допустим, действуют следующие правила. Сила субъекта выражается числом, мощь союза равна сумме сил союзников, а богатство пропорционально силе. Субъект A нападет на субъект B только в том случае, если у него есть уверенность в победе (т. е. если A сильнее B). Победители получают богатство побежденных, но не их силу. Каждый субъект действует эгоистично и стремится разбогатеть, избежав поражения. Расстановка сил считается устойчивой, если никому не выгодно начинать войну – например, когда может сформироваться коалиция, достаточно сильная, чтобы предотвратить конфликт, а верность союзу отвечает интересам всех его членов.

Рассмотрим расстановку сил 4, 2, 1. Такое сочетание неустойчиво, поскольку субъект 4 может победить оппонентов 2 и 1, даже если они образуют союз. А сочетание 4, 2, 1, 1 устойчиво, так как 2, 1 и 1 могут сформировать коалицию, которая сможет отразить нападение четвертого, самого мощного субъекта. Более того, если любой из союзников погибнет, остальные будут обречены, поэтому все члены союза весьма заинтересованы в его существовании.

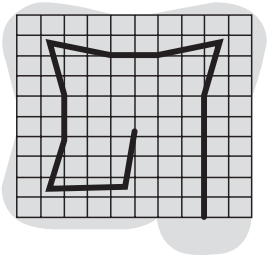
Устойчиво ли сочетание 5, 4, 4? А как насчет 5, 4, 3? Расстановка сил 5, 4, 4 неустойчива, поскольку две четверки, несомненно, объединятся против пятерки, разделят ее богатства и разойдутся, образовав сочетание 4, 4, в котором не может быть победителя. А вот конфигурация 5, 4, 3 стабильна: ни у одного субъекта нет уверенности в безнаказанной победе (см. рис.).

Попробуйте составить устойчивую конфигурацию из наибольшего количества сил, выраженных неповторяющимися целыми числами не больше 21. Каков будет результат, если допустить существование субъектов одинаковой силы?

Теперь модифицируем задачу. Предположим, что субъекты могут обладать «пчелиным жалом» – оборонительным средством, уничтожающим даже более сильного агрессора, но при этом губящим своего обладателя. Например, пятерка не станет нападать на четверку, у которой есть «пчелиное жало», поскольку в таком случае погибнут оба участника конфликта. Казалось бы, обладание «пчелиным жалом» неизбежно делает систему устойчивой, так как предотвращает нападения. А может ли приобретение жала кем-то из субъектов внести в систему нестабильность? ■

Дэннис Шаша (Dennis E. Shasha) – профессор информатики в Институте Куранта Нью-Йоркского университета .

ОТВЕТ НА ГОЛОВОЛОМКУ ИЗ ПРЕДЫДУЩЕГО НОМЕРА: Начните поиски потерявшегося туриста в двух милях к западу от юго-восточного угла парка и следуйте по маршруту, изображенному ниже. Длина всего пути составляет примерно 29,31 мили, так что спасатели запеленгуют сигнал бедствия не позже, чем через 293 минуты.





Сочетание 5, 4 и 3 устойчиво, т.к. мир в интересах всех трех групп.

CORNELIA BLIK

ОТЧЕГО БЫВАЕТ БЕССОННИЦА?

Отвечает психиатр Генри Олдерс (Henry Olders):

На сон влияют разные причины: прием лекарств, чрезмерное потребление алкоголя или кофе, стресс, боль и т.д. Если устранить основную причину, сон, как правило, нормализуется. У некоторых людей его нарушение принимает форму бессонницы. Ученые полагают, что подобная предрасположенность обусловлена нашим отношением ко сну и бодрствованию.

Многие люди, страдающие бессонницей, искренне убеждены, что они слишком мало спят, хотя на самом деле полностью удовлетворяют свои потребности во сне. Они имеют обыкновение рано ложиться в постель, поздно вставать и спать днем – а такие привычки лишь усугубляют проблему. Ученые обнаружили, что такие люди абсолютно убеждены в пагубном влиянии недостатка сна на физическое и психическое здоровье. Как правило, их сильно тревожит возможность провести бессонную ночь, а перед тем, как заснуть, они склонны зацикливаться на своих проблемах, переживать дневные события и раздражаться на окружающий шум.

Сколько же часов сна необходимо человеку в сутки? Как показывают результаты эпидемиологических исследований, семичасовой ночной сон связан с более низким риском смертности (вследствие болезней сердца, рака и даже несчастных случаев), чем более продолжительный или более короткий. А с возрастом потребность в сне уменьшается.

Правильная гигиена сна поможет избавиться от бессонницы. Прежде всего определите для себя оптимальное время отхода ко сну. Максимально оградите себя от шумов, подберите комфортный уровень освещения и температуры. В постели не следует читать или смотреть телевизор, перед сном не нужно переедать, курить, принимать алкоголь, кофе и прочие стимуляторы, а также заниматься спортом. ■



ЛЮДИ – ЭТО ЕДИНСТВЕННЫЕ ПРЕДСТАВИТЕЛИ ПРИМАТОВ, КОТОРЫЕ ПЛАЧУТ?

Ким Бард (Kim A. Bard) психолог из Портсмутского университета, в Англии, занимающийся сравнительным анализом эволюционного развития, отвечает:

Все зависит от того, как понимать слово «плакать». Слезы, в сущности, единственное отличие человека. Но проявление грусти, клич о помощи – свойственно почти всем приматам.

Некоторые ученые утверждают, что все млекопитающие обладают чувствами, которые вырабатывались на протяжении всего эволюционного развития и стали результатом интенсивной деятельности мозга. Другие считают, что эмоции присущи только человеку. Третья группа исследователей занимает промежуточную позицию, заявляя, что невозможно установить, способны приматы переживать или нет. Чтобы не употреблять понятие «плач», в определенных ситуациях используются специальные термины. Например, детеныш обезьяны, потерявший мать издает клич разлуки. Ученые любят описывать, как и что животные пытаются «переговариваются», занимаясь поиском пищи, когда общаются с сородичами или хотят избавиться от боли. ■





Читайте в мартовском выпуске журнала:

Успех братьев Райт

Существуют ли расы?

«Теневая» часть генома: за пределами ДНК

День, когда мир был сожжен

Новая Луна

Оформить подписку на журнал «В мире науки» можно:
• по каталогам: «Пресса России», подписной индекс 45724; «Роспечать», подписной индекс 81736; периодических изданий для библиотек, подписной индекс Б392; изданий органов НТИ, подписной индекс 69970; через редакцию журнала (только по России), перечислив деньги через Сбербанк или по почте, отправив копию квитанции (с указанием Ф.И.О., точного адреса и индекса подписчика) в РосНОУ по почте, по факсу: (095) 105-03-72 или по e-mail: red_nauka@rosnou.ru Стоимость подписки на полугодие – 390 руб., на год – 780 руб.

Розничная продажа в Москве осуществляется:

- **в передвижных киосках «Метрополитеновец» около станций метро;**
- **в киоске «Деловые люди», 1-я Тверская-Ямская ул., 1;**
- **в киоске РосНОУ, ул. Радио, 22, 1-й этаж;**
- **в Доме технической книги, Ленинский проспект, 40;**
- **в киосках МГУ, МГИМО, РУДН, МИРЭА;**
- **в павильоне у метро «Тимирязевская»;**
- **в киоске в г. Пушкино, Московский проспект, 5;**
- **в киоске на Большой Якиманке, 49;**
- **в киоске на Дмитровском шоссе, 25;**
- **в киоске на Дмитровском шоссе, 43;**
- **в киоске на Ленинградском шоссе, 112/1;**
- **в киоске Министерства внутренних дел;**
- **в киоске у м. «Петровско-Разумовская», Локомотивный проезд, 32;**
- **в киоске на Селезневской улице, 11;**
- **в киоске на Тверской, Мамоновский пер., 9;**
- **в киоске на ул. Тимирязевская, 15;**
- **в павильоне в г. Химки;**
- **в павильоне в г. Зеленоград;**
- **в магазинах на Курском вокзале;**
- **на лотке и в магазине на Ленинградском вокзале**

Негосударственное образовательное учреждение
«Российский новый университет»
Расчетный счет 40703810200000010014
в АКБ «Ист-Бридж Банк» ЗАО, г. Москва БИК 044579128
Корреспондентский счет 30101810500000000128
ИНН 7714082749; КПП 770901001

Фамилия, И.О., адрес плательщика

Вид платежа	Дата	Сумма
Подписка на журнал **«В мире науки»**		
Плательщик		

Негосударственное образовательное учреждение
«Российский новый университет»
Расчетный счет 40703810200000010014
в АКБ «Ист-Бридж Банк» ЗАО, г. Москва БИК 044579128
Корреспондентский счет 30101810500000000128
ИНН 7714082749; КПП 770901001

Фамилия, И.О., адрес плательщика

Вид платежа	Дата	Сумма
Подписка на журнал **«В мире науки»**		
Плательщик		