

Митио Каку

Физика будущего



Michio Kaku

PHYSICS OF THE FUTURE

How Science Will Shape Human Destiny
and Our Daily Lives by the Year 2100

Doubleday

New York London Toronto Sydney Auckland

Митио Каку

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Перевод с английского



Москва
2012

УДК 524.8+629.78
ББК 22.657+39.6
К16

Переводчик Наталья Лисова
Редактор Мария Миловидова

Каку М.

К16 Физика будущего / Митио Каку ; Пер. с англ. М: Альпина нон-фикшн, 2012. — 584 с.

ISBN 978-5-91671-164-6

Кому как не ученым-физикам рассуждать о том, что будет представлять собой мир в 2100 году? Как одним усилием воли будут управляться компьютеры, как силой мысли человек сможет двигать предметы, как мы будем подключаться к мировому информационному полю? Возможно ли это? Окажется, возможно и не такое. Искусственные органы; парящие в воздухе автомобили; невероятная продолжительность жизни и молодости — все эти чудеса не фантастика, а научно обоснованные прогнозы серьезных ученых, интервью с которыми обобщил в своей книге Митио Каку.

УДК 524.8+629.78
ББК 22.657+39.6

Издание подготовлено при поддержке
Фонда Дмитрия Зимина «Династия»



Фонд некоммерческих программ «Династия» основан в 2001 году Дмитрием Борисовичем Зиминим, почетным президентом компании «Вымпелком». Приоритетные направления деятельности Фонда — поддержка фундаментальной науки и образования в России, популяризация науки и просвещение. «Библиотека Фонда «Династия» — проект фонда по изданию современных научно-популярных книг, отобранных экспертами-учеными. Книга, которую вы держите в руках, выпущена под эгидой этого проекта. Более подробную информацию о фонде «Династия» вы найдете по адресу www.dynastyfdn.ru.

Все права защищены. Никакая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами, включая размещение в сети Интернет и в корпоративных сетях, а также запись в память ЭВМ для частного или публичного использования без письменного разрешения владельца авторских прав. По вопросу организации доступа к электронной библиотеке издательства обращайтесь по адресу lib@alpinabook.ru.

ISBN 978-5-91671-164-6 (рус.)
ISBN 978-0-385-53080-4 (англ.)

© Michio Kaku, 2011
© Издание на русском языке, перевод,
формлиение. ООО «Альпина нон-фикшн», 2012

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	7
Предсказание на 100 лет	
1. БУДУЩЕЕ КОМПЬЮТЕРА	33
Превосходство сознания над материей	
2. БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА	101
Машины на подъеме	
3. БУДУЩЕЕ МЕДИЦИНЫ	183
Совершенство и далее	
4. НАНОТЕХНОЛОГИИ	265
Все из ничего?	
5. БУДУЩЕЕ ЭНЕРГИИ	323
Энергия звезд	
6. БУДУЩЕЕ КОСМИЧЕСКИХ ПУТЕШЕСТВИЙ	393
К звездам	
7. БУДУЩЕЕ БОГАТСТВА	455
Победители и проигравшие	
8. БУДУЩЕЕ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА	501
Планетарная цивилизация	
9. ОДИН ДЕНЬ В 2100 г.	539
1 января 2100 г., 06:15	
БЛАГОДАРНОСТИ	562
ПРЕДМЕТНО-ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ	575

ВВЕДЕНИЕ

ПРЕДСКАЗАНИЕ НА 100 ЛЕТ

Империи будущего будут империями разума.

Уинстон Черчилль

Когда я был маленьким, два события помогли сформировать меня таким, какой я сегодня, и заронили в душу две страсти, определившие всю мою жизнь.

Первое событие произошло, когда мне было восемь лет. Я очень хорошо помню, как гудела учительская, обсуждая последнюю новость: умер великий ученый. В тот вечер газеты напечатали фотографию его кабинета с незаконченной рукописью на столе. Заголовок гласил, что величайший ученый нашей эпохи не смог завершить свой величайший шедевр. Я снова и снова задавал себе вопрос: что может быть настолько сложным, чтобы такой великий ученый не смог закончить свой труд? Что вообще может быть настолько сложным и настолько важным? Постепенно этот вопрос стал для меня более интересным, чем любой детектив, более захватывающим, чем любые приключения. Я должен был узнать, что содержится в той неоконченной рукописи.

Позже я выяснил, что ученого звали Альберт Эйнштейн, а неоконченная рукопись должна была стать его величайшим достижением. Это была попытка создать «теорию всего», вывести общее уравнение, состоящее, может быть, всего из нескольких букв, которое приоткрыло бы для человечества тайны Вселенной и позволило бы его автору «понять замысел Бога».

Другим определяющим событием моего детства стали, как ни странно, телепередачи, особенно сериал «Флэш Гордон» с Бастером Краббом в главной роли. Каждую субботу утром

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

я буквально прилипал к телевизору и волшебным образом переносился в загадочный мир инопланетных пришельцев, звездных кораблей, сражений с применением лучевого оружия, подводных городов и, конечно, чудовищ. Да, я заглотил наживку и попал на крючок. Прекрасно помню свои первые встречи с миром будущего и до сих пор испытываю детский восторг при мысли о нем.

Однако, посмотрев все серии фильма, я потихоньку начал понимать, что, хотя все лавры в нем доставались Флэшу, на самом деле главным действующим лицом сюжета был ученый — доктор Зарков. Без него действие застопорилось бы в самом начале. Именно он изобрел ракетный корабль, щит невидимости, источник энергии для небесного города и множество других необходимых вещей. Я понял, что без ученого будущее невозможно. И пусть молодые и красивые герои вызывают восторги зрителей, но все чудесные изобретения будущего — результат деятельности невоспетых и зачастую анонимных ученых.

Позже, в старших классах школы, я решил последовать примеру великих ученых прошлого и подвергнуть теоретические знания практической проверке. Я хотел быть частью той великой революции, которая, как я был убежден, в самом ближайшем будущем изменит мир. Я решил построить установку для столкновения атомов и попросил у мамы разрешения соорудить в гараже ускоритель частиц на 2,3 миллиона электронвольт. Она немного удивилась, но разрешила. После этого я обратился к фирмам Westinghouse и Varian Associates, добыл 400 фунтов трансформаторной стали и 22 мили медного провода и собрал в мамином гараже вполне приличный ускоритель-бетатрон.

Еще раньше я соорудил камеру Вильсона с мощным магнитным полем и некоторое время фотографировал треки античастиц. Но этого мне было мало. Я поставил себе новую цель: получить пучок античастиц. Магнитные катушки ускорителя обеспечивали мне мощное магнитное поле напряженностью

ВВЕДЕНИЕ

в 10 000 гаусс (примерно в 20 000 раз мощнее магнитного поля Земли; в принципе такого поля достаточно, чтобы вырвать из руки молоток). Машина пожирала шесть киловатт, забирая всю электроэнергию в доме; предохранители то и дело летели. (Должно быть, моя бедная мама не раз пожалела, что ее сын не уродился футболистом.)

Итак, моей жизнью управляли две страсти: во-первых, желание понять все физические законы Вселенной и свести их в единую непротиворечивую теорию, во-вторых, желание увидеть будущее. Со временем я понял, что на самом деле эти две страсти дополняют одна другую. Ключ к пониманию будущего — фундаментальные законы природы; новые изобретения, машины и методы лечения, созданные на их основе, определяют будущее нашей цивилизации на многие десятилетия.

Я узнал, что во все времена человек пытался предсказывать будущее, и многие попытки такого рода были полезными и глубокими, но, увы, писали о будущем все больше историки, социологи, писатели-фантасты и «футуристы». Можно сказать, что сторонние наблюдатели пытались предсказывать мир науки, ничего достоверно о науке не зная. Ученые — те, кто, собственно, и создает будущее в своих лабораториях, — слишком заняты открытиями и прорывами, чтобы писать популярные книги о будущем.

Вот чем эта книга отличается от других. Я надеюсь, что она поможет читателю увидеть чудесные открытия, ожидающие нас в будущем, глазами непосредственного участника и представит самый подлинный и авторитетный взгляд на мир 2100 г.

Конечно, невозможно предсказать будущее с абсолютной точностью. Мне кажется, максимум, что можно сделать, — это заглянуть в мысли ученых, которые сегодня работают на переднем крае науки и старательно изобретают будущее. Именно они создают устройства, приспособления и лекарства, которые в будущем полностью изменят человеческую цивилизацию. Моя книга — рассказ об этих людях. У меня была редкая

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

возможность наблюдать эту великую революцию из первых рядов; я брал интервью более чем у 300 лучших в мире ученых, мыслителей и мечтателей для телевидения и радио Америки. Я водил съемочные группы в лаборатории; мы снимали прототипы тех замечательных устройств, которые изменят наше будущее. Мне выпала редкая честь выступать ведущим многих научных передач на телеканалах BBC, Discovery и Science, рассказывать об изобретениях и открытиях современных прорицателей, которые осмеливаются не только заглядывать в будущее, но и творить его собственными руками. Я имел возможность заниматься собственными исследованиями — теорией струн — и одновременно знакомиться с самыми передовыми исследованиями, которые в XXI в. перевернут мир. Я, как мне кажется, занимался в науке самыми желанными вещами. Моя детская мечта осуществилась.

Но эта книга отличается от прежних моих книг. В таких книгах, как «Дальше Эйнштейна» (Beyond Einstein), «Гиперпространство» и «Параллельные миры», я рассказывал о свежих ветрах революционных перемен, дующих в моей области — теоретической физике — и открывающих новые пути к пониманию Вселенной. В «Физике невозможного» я говорил о том, что текущие открытия в физике со временем воплотят, вероятно, в жизнь даже самые смелые научно-фантастические идеи.

Из всех книг эта больше всего похожа на «Предчувствия» (Visions), где темой моего рассказа было развитие физики в ближайшие несколько десятилетий. Я рад, что многие предсказания, сделанные в той книге, сегодня реализуются точно по расписанию, что в значительной мере определялось мудростью и разумным предвидением множества ученых, с которыми я говорил в процессе подготовки этой работы.

Но эта книга дает гораздо более широкую панораму будущего; в ней говорится о технологиях, которые, возможно, принесут плоды лишь через сто лет, но которые в свой срок определят судьбу человечества. От того, как мы справимся с вызовами

ВВЕДЕНИЕ

и возможностями начавшегося века, будет зависеть, на мой взгляд, окончательная траектория дальнейшего движения человеческой расы.

Предсказания на ближайший век

Предсказать события ближайших нескольких лет — тем более заглянуть на целый век вперед — очень непросто, но именно такие задачи заставляют нас мечтать о технологиях, способных изменить судьбы мира.

В 1863 г. великий фантаст Жюль Верн написал свое, может быть, самое амбициозное произведение — пророческий роман под названием «Париж в XX веке», где в полном блеске проявился его необычайный дар предвидения. По крайней мере грядущий век он предсказал с удивительной точностью. К несчастью, рукопись затерялась в тумане времени; правнук писателя случайно наткнулся на нее в сейфе, где она пролежала почти 130 лет. Поняв, какое сокровище обнаружил, наследник Жюль Верна издал роман в 1994 г., и он сразу же стал бестселлером.

Тогда, в 1863 г., короли и императоры еще правили древними империями, а нищие крестьяне в поте лица своего трудились на полях. В Соединенных Штатах полыхала разрушительная Гражданская война, едва не разорвавшая страну на части, а паровой двигатель только начинал свое победное шествие по миру. Но Верн предсказал, что в Париже в 1960 г. будут стеклянные небоскребы, кондиционеры, телевидение, лифты, скоростные поезда, бензиновые автомобили, факс-машины и даже что-то напоминающее Интернет. С невероятной точностью Верн описал и жизнь в современном Париже.

Надо сказать, что это не случайная удача, ведь всего через несколько лет он сделал еще одно впечатляющее предсказание. В романе «С Земли на Луну» (1865) Жюль Верн привел немало точных подробностей тех необыкновенных путешествий, которые больше ста лет спустя, в 1969 г., привели американских

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

астронавтов на Луну. Он предсказал размеры космической капсулы (с точностью до нескольких процентов), расположение стартовой площадки (во Флориде, на широте мыса Канаверал), число астронавтов, продолжительность путешествия, невесомость, которую испытают астронавты, и финальное приземление в океан. (Единственной серьезной ошибкой было то, что для доставки астронавтов на Луну автор романа воспользовался порохом, а не ракетным топливом. Но до изобретения жидкостных ракет оставалось еще семьдесят лет.)

Каким образом умудрился Жюль Верн предсказать будущее на сто лет вперед с такой поразительной точностью? Его биографы отмечают, что Верн, не будучи ученым, внимательно следил за развитием науки, постоянно встречался с учеными и выяснял, как каждый из них представляет себе будущее развитие своей области. Он собирал информацию обо всех серьезных научных открытиях своего времени и накопил обширный архив. Жюль Верн лучше, чем кто-либо другой, понимал, что именно науке в самом ближайшем будущем суждено потрясти основы цивилизации и ввести ее в новый век, полный удивительных событий и чудес. А главное, писатель понял, что наука способна преобразовать общество; именно в этом ключ к его глубочайшим прозрениям.

Еще одним великим пророком техники был Леонардо да Винчи, художник, мыслитель и мечтатель. Он оставил нам красивые и точные чертежи машин, которые должны были когда-нибудь подняться в небо: наброски парашютов, вертолетов, дельтапланов и даже самолетов. Замечательно, что многие из его изобретений действительно полетели бы, хотя придуманы в конце XV в. (Его летающим машинам не хватало одного-единственного ингредиента: мотора мощностью по крайней мере в одну лошадиную силу, которому предстояло появиться на свет лишь через 400 лет.)

Не менее поразителен тот факт, что Леонардо оставил нам набросок механического суммирующего устройства, обогнавшего время примерно на 150 лет. В затерявшейся рукописи, вновь

ВВЕДЕНИЕ

открытой в 1967 г., был обнаружен проект суммирующей машины с цифровыми колесиками на тринадцать разрядов. При повороте ручки колесики внутри должны были прокручиваться и производить арифметические вычисления. (Машина, построенная по этому чертежу в 1968 г., на самом деле заработала.)

Кроме того, в 1950-х гг. была обнаружена еще одна рукопись Леонардо с наброском робота-воина в итало-германских доспехах, способного садиться, двигать руками, шеей и челюстью. Робот по этому проекту также был построен и оказался вполне функциональным.

Как и Жюль Верн, Леонардо общался с передовыми мыслителями своего времени и умел увидеть в этих беседах будущее; он входил в небольшой круг людей, находившихся на передовой современной ему науки. Кроме того, Леонардо постоянно экспериментировал, строил модели, чертил, а это очень важная черта любого, кто хочет превратить мысли в дела.

Рассматривая прогнозы Жюль Верна и Леонардо да Винчи и удивляясь их пророческому дару, мы невольно задаемся вопросом: можно ли сегодня предсказать мир 2100 г.? В полном соответствии с традициями Верна и да Винчи в этой книге мы подробно рассмотрим работы ведущих ученых, уже сегодня создающих прототипы технологий будущего. Эта книга — не фантастический роман, не продукт разыгравшегося воображения голливудского сценариста, она основана на результатах серьезных научных исследований, проводимых в настоящее время в крупнейших лабораториях мира.

Прототипы всех описанных в книге приборов и механизмов уже существуют. Автор «Нейроманта» Уильям Гибсон, пустивший в обращение слово «киберпространство», однажды сказал: «Будущее уже здесь. Оно просто распределено неравномерно».

Предсказывать, каким будет мир в 2100 г., трудно еще и потому, что мы с вами живем в эпоху глобального научного переворота, и темпы познания мира непрерывно возрастают. За последние несколько десятилетий человечество обрело боль-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

ше научных знаний, чем за всю предыдущую историю. Логично предположить, что к 2100 г. объем научных знаний успеет удвоиться еще не один раз.

Возможно, лучший способ осознать сложность и необъятность взятой на себя задачи — вспомнить, каким был мир в 1900 г., как жили наши бабушки и дедушки.

Журналист Марк Салливан (Mark Sullivan) предлагает нам представить человека, читающего в 1900 г. обычную газету:

«В газете за 1 января 1900 года наш американец не нашел, к примеру, слова “радио”, ибо до его появления оставалось еще двадцать лет; или “кино”, ибо его расцвет тоже был еще впереди; или слова “шофер”, ибо автомобиль только что появился и назывался пока “безлошадным экипажем”... Не было такого слова, как “авиатор”... Фермеры еще ничего не слышали о тракторах, а банкиры — о Федеральной резервной системе. Торговцы не слыхали ни о сетевых универсамах, ни о принципе самообслуживания; моряки не имели представления о дизельных двигателях... На сельских дорогах все еще попадались тяжелые повозки, запряженные парой волов... Упряжные лошади и мулы встречались повсеместно... Кузница под развесистым каштаном представляла собой вполне обычное зрелище».

Чтобы понять, насколько сложно делать прогнозы на 100 лет вперед, нам достаточно представить, каково было людям в 1900 г. предсказывать мир 2000 г. В 1893 г. в рамках Всемирной «колумбовской» выставки в Чикаго 74 знаменитости получили задание предсказать, какой будет жизнь через 100 лет. Общей проблемой для всех участников стала недооценка скорости, с которой развивается и будет развиваться наука. К примеру, многие респонденты верно предсказали, что будет действовать воздушное трансатлантическое сообщение, но сошлись на том, что средством сообщения будут управляемые воздушные шары. Сенатор Джон Инголлс (John J. Ingalls) сказал: «Прика-

ВВЕДЕНИЕ

зание подать к подъезду дирижабль будет так же обычно, как сегодня приказание подать экипаж или башмаки». Кроме того, участники проекта дружно игнорировали автомобиль, а начальник почтового ведомства США генерал Джон Ванамейкер (John Wanamaker) даже сказал, что и через сто лет почта США будет развозиться в почтовых каретах и на вьючных лошадях.

Такая недооценка науки и инновационных технологий распространялась даже на патентное ведомство. В 1899 г. Чарльз Дуэлл (Charles H. Duell), комиссар Патентного бюро США, сказал: «Все, что можно изобрести, уже изобретено».

Иногда эксперты оказывались буквально слепы в собственной области и не видели, что происходит у них под носом.

В 1927 г., в эпоху немого кино, Гарри Уорнер (Harry M. Warner), один из основателей киностудии Warner Brothers, как-то заметил: «Ну кто, черт возьми, захочет слушать актеров?»

А Томас Уотсон (Thomas Watson), президент IBM, сказал в 1943 г.: «Я думаю, в мире есть рынок сбыта для компьютеров. Штук, скажем, для пяти».

Недооценка мощи научных открытий затронула и почтенную газету *New York Times*. В 1903 г. *Times* заявила, что летающие машины — пустая трата времени, ровно за неделю до того, как братья Райт успешно подняли в воздух свой аэроплан в городке Китти-Хок в Северной Каролине. В 1920 г. *Times* раскритиковала ученого-ракетчика Роберта Годдарда (Robert Goddard) и объявила его работу чепухой, потому что ракеты не могут двигаться в вакууме. Правда, к чести газеты следует отметить, что через 49 лет, когда астронавты «Аполлона-11» ступили на Луну, *Times* напечатала опровержение: «Теперь определенно установлено, что ракета может функционировать в вакууме. *Times* сожалеет о своей ошибке».

Из приведенных примеров видно, как опасно ставить на будущее.

Вообще, прогнозы на будущее, за редким исключением, всегда недооценивали скорость технического прогресса.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Мы вновь и вновь убеждаемся, что историю делают не пессимисты, а оптимисты. Как однажды заметил президент США Дуайт Эйзенхауэр, «пессимизм не выиграл ни одной войны».

Несложно убедиться, что даже писатели-фантасты зачастую недооценивают скорость развития науки. Посмотрев повтор старого сериала «Звездный путь», снятого в 1960-х гг., можно заметить, что значительная часть показанных в нем «технологий XXIII века» уже рядом с нами. Тогда зрители с изумлением взирали на мобильные телефоны, портативные компьютеры, говорящие автоматы и пишущие машинки, способные печатать под диктовку. Тем не менее сегодня все эти устройства существуют в действительности. А совсем скоро появятся первые универсальные переводчики, способные переводить синхронно, и «трикордеры» — устройства, способные диагностировать болезни на расстоянии. (В общем, большинство научных открытий XXIII в., за исключением транспортеров и варп-двигателей, позволяющих летать со сверхсветовой скоростью, уже сделано.)

Учитывая вопиющие ошибки наших предшественников, которые упорно недооценивали будущее, задумаемся: как нам подвести более прочную научную базу под наши собственные прогнозы?

Разобраться в законах природы

Сегодня можно с уверенностью сказать, что темные века науки, когда молния или чума представлялись делом богов, закончились. У нас громадное преимущество перед Жюлем Верном и Леонардо да Винчи: мы гораздо лучше понимаем законы природы.

Предсказания, разумеется, никогда не станут абсолютно безупречными, но единственный способ сделать их как можно более достоверными — это разобраться в четырех фундаментальных силах природы, которые управляют Вселенной. Открытие и описание каждой из них в свое время изменило историю человечества.

ВВЕДЕНИЕ

Первой из сил, получивших научное объяснение, стала сила тяготения. Законы механики, открытые Исааком Ньютоном, объясняют движение объектов через силы и взаимодействия и показывают, что для этого не нужны ни мистические духи, ни метафизика. Законы Ньютона проложили путь промышленной революции и паровой тяге, в частности железным дорогам.

Второй силой, механизм действия которой удалось понять человеку, стала электромагнитная сила, которая освещает наши города и питает энергией всевозможные устройства. Томас Эдисон, Майкл Фарадей, Джеймс Кларк Максвелл и другие ученые и изобретатели разобрались в электричестве и магнетизме и поставили их на службу человечеству. Результатом стала электронная революция, которая принесла нам массу научных чудес. В этом можно убедиться всякий раз при аварийном отключении электричества, когда общество внезапно оказывается отброшенным на 100 лет назад.

Третьей и четвертой в процессе познания фундаментальных сил стали две ядерные силы: слабое и сильное взаимодействия. После того как Эйнштейн написал свою знаменитую формулу $E = mc^2$ и в 1930-х гг. ученым впервые удалось расщепить атом, они начали понимать, какие силы заставляют пылать небеса. Была открыта тайна горения звезд. Результатом стала не только громадная мощь ядерного оружия, но и надежда на то, что когда-нибудь человек сможет обуздать эти невероятные силы здесь, на Земле.

Сегодня мы довольно хорошо разбираемся во всех четырех перечисленных видах взаимодействия. Первый из них — гравитационное взаимодействие — в настоящее время описывается в рамках общей теории относительности Эйнштейна. Остальные три силы описываются в рамках квантовой теории — теории, которая приоткрывает перед нами тайны мира элементарных частиц.

Квантовая теория, в свою очередь, подарила нам транзистор, лазер и цифровую революцию — движущую силу совре-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

менного общества. Кроме того, с ее помощью ученые сумели раскрыть тайны молекулы ДНК. Стремительная поступь биотехнологической революции — непосредственный результат развития компьютерных технологий, ведь при секвенировании ДНК не обойтись без сложнейших автоматов, роботов и компьютеров.

Вследствие всего этого мы лучше, чем когда-либо, различаем путь, которым пойдут в новом веке наука и технология. Разумеется, на этом пути человечество ждет и совершенно неожиданные открытия, и захватывающие дух научные новинки, но фундамент современной физики, химии и биологии уже заложен и в обозримом будущем здесь не ожидается никаких серьезных изменений. Поэтому мы можем утверждать, что предсказания, содержащиеся в этой книге, — не продукт пустых спекуляций, а разумная оценка сроков, за которые пилотные технологии сегодняшнего дня смогут достичь зрелости и принести плоды.

В заключение назовем несколько соображений, дающих нам право считать, что мы сейчас в состоянии различить контуры мира, каким он будет в 2100 г.

1. Эта книга основана на беседах с более чем тремя сотнями лучших ученых, работающих на переднем крае науки.
2. Ни одна научная разработка из упомянутых в книге не противоречит известным законам физики.
3. Четыре фундаментальных взаимодействия и базовые законы природы в основном известны; никаких серьезных изменений здесь не ожидается.
4. Прототипы всех технологических новинок, упомянутых в книге, уже существуют.
5. Автор книги — человек науки, не понаслышке знакомый с технологиями переднего края научных исследований.

ВВЕДЕНИЕ

Бесчисленные эпохи человек был всего лишь пассивным наблюдателем величественного танца природы. Он мог только смотреть в изумлении и ужасе на кометы, молнии, извержения вулканов и страшные эпидемии. Он был уверен, что все это находится за пределами его понимания. Для древнего человека силы природы были вечной загадкой, их следовало бояться и почитать. Чтобы хоть как-то объяснить происходящее вокруг, человек создавал мифических богов и заселял ими землю и небо. Он надеялся, что, если усердно молиться этим богам, они проявят милосердие и даруют исполнение самых заветных желаний.

Сегодня человек становится хореографом природного танца. Иногда ему удается вносить в законы природы свои поправки. Я уверен, что к 2100 г. мы завершим этот процесс и окончательно подчиним себе силы природы.

2100 г.: встать вровень с богами

Если бы современный человек мог навестить своих древних предков и продемонстрировать им все богатство современной науки и техники, на него посмотрели бы как на волшебника. Чудеса науки окружают нас со всех сторон: самолеты взмывают в небеса, ракеты исследуют Луну и планеты Солнечной системы, магнитно-резонансные томографы помогают врачам заглядывать внутрь человеческого тела, сотовые телефоны связывают нас с абонентом, находящимся в любой точке планеты. Если бы можно было показать древнему человеку ноутбук, способный мгновенно передавать движущиеся картинки и сообщения на другой континент, он наверняка назвал бы это колдовством.

Но это всего лишь начало. Наука не стоит на месте. Оглянувшись вокруг, мы увидим взрывное экспоненциальное развитие науки и техники. Если подсчитать количество публикуемых научных статей, несложно убедиться, что даже объем научных знаний каждые десять лет примерно удваивается. Инновации

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

и открытия полностью меняют экономическую, политическую и социальную жизнь, разрушают и ставят с ног на голову все прежние, прочно укоренившиеся взгляды и предрассудки.

А теперь смелее! Вообразите себе мир 2100 г.!

К 2100 г. нам суждено уподобиться богам, на которых мы когда-то взирали с благоговением и ужасом. Но орудиями нашими будут не волшебные палочки и колдовские зелья, а наука о компьютерах, нанотехнологии, искусственный интеллект, биотехнология и, самое главное, квантовая теория — фундамент всего остального.

К 2100 г. мы, подобно мифическим богам, сможем мысленно отдавать приказы и манипулировать предметами. Компьютеры, молча и незаметно считывая наши мысли, научатся исполнять наши желания. Мы научимся силой мысли двигать объекты — обретем телекинетические способности, которые прежде приписывали лишь богам. Биотехнология поможет нам сотворить для себя идеальное тело и увеличить продолжительность жизни. Кроме того, мы научимся создавать новые формы жизни, такие, каких прежде на Земле просто не существовало. Нанотехнология позволит нам брать предмет и превращать его во что-то иное, а также создавать вещи почти из ничего. Ездить мы будем не на огненных колесницах, а в обтекаемых транспортных средствах, способных двигаться практически без топлива и легко подниматься в воздух. Новые силовые установки позволят нам обуздать неограниченную энергию звезд. Кроме того, мы будем стоять на пороге отправки первых межзвездных экспедиций для изучения ближайших светил.

Сегодня эти возможности представляются невообразимыми, фантастическими, но семена этих технологий высеваются сегодня, сейчас, в тот самый момент, когда вы читаете эту книгу. А перечисленные возможности даст человеку современная наука, а не зелья и заклинания.

Сам я квантовый физик. Каждый день я имею дело с уравнениями, описывающими поведение элементарных частиц,

ВВЕДЕНИЕ

из которых состоит Вселенная. Мир, в котором я живу, представляет собой Вселенную одиннадцатимерного гиперпространства, черных дыр и проходов в Мультивселенную. Следует заметить, что уравнениями квантовой физики можно описывать не только богатую событиями жизнь звезд и Большой взрыв. С их помощью можно разглядеть и очертания нашего будущего, хотя бы самые общие.

Но зададимся другим вопросом. Куда ведет нас технологическая революция? Какова конечная цель нашего долгого путешествия в мир науки и техники?

Кульминацией всего этого должно стать формирование планетарной цивилизации — того, что физики называют цивилизацией I типа. Вообще, переход к планетарной цивилизации станет, вероятно, величайшим рубежом в истории человечества и будет означать резкий уход от всех цивилизаций прошлого. Практически все самые громкие события, все заголовки новостных сообщений тем или иным способом отражают «родовые схватки» планетарной цивилизации. Деловая активность, торговля, культура, язык, развлечения, хобби и даже война — все стороны деятельности человека переживают в связи с этим революционные перемены. Подсчитав количество энергии, вырабатываемой на планете, мы увидим, что при стабильном развитии человечество достигнет статуса цивилизации I типа в ближайшие 100 лет. Если общество не падет жертвой сил хаоса и глупости, то переход к планетарной цивилизации неизбежен; это конечный продукт действия неумолимых глобальных сил истории и технического развития, не подвластных никому.

Почему предсказания не всегда сбываются

Не секрет, что некоторые предсказания эры информатизации блистательно провалились. К примеру, многие футуристы предсказывали «безбумажный офис», т. е. утверждали, что компьютер сделает бумаги ненужными, а документооборот — виртуаль-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

ным. На самом же деле все произошло с точностью до наоборот. Одного взгляда на любой офис достаточно, чтобы понять: бумага стало больше, чем когда-либо.

Кроме того, некоторые видели в будущем «безлюдные города». Футуристы предсказывали, что благодаря технологии интернет-видеоконференций «живые» бизнес-встречи станут ненужными и ездить каждый день в город на работу будет незачем. Говорили, что крупные города опустеют, а люди будут больше работать дома, чем в офисе.

Точно так же говорилось о появлении «кибертуристов» — любителей лежать на диване и одновременно путешествовать по миру, разглядывая достопримечательности через Интернет на экране компьютера. Отсюда упадок туристического бизнеса. Вместо покупателей возникнут «киберпокупатели», за которых ходить по магазинам будет компьютерная мышка. Торговые центры и гипермаркеты разорятся. «Киберстуденты» будут посещать занятия виртуально, а втайне играть в видеоигры и пить пиво, а университеты закроются за отсутствием желающих учиться.

Вспомним также о судьбе видеотелефона. На Всемирной выставке 1964 г. компания AT&T показала новую систему. Она потратила около 100 миллионов долларов на разработку телеэкрана, который мог бы подсоединяться к телефонной сети и показывать вам вашего собеседника, а ему — вас. Идея провалилась: AT&T сумела продать всего около ста таких аппаратов, ведь каждый из них стоил порядка миллиона долларов. Эта неудача обошлась фирме очень недешево.

Наконец, неизбежной считалась и гибель традиционных средств массовой информации и развлечений. Некоторые футуристы предсказывали, что Интернет, подобно колеснице Джаггернаута, раздавит живой театр, кино, радио и телевидение, которые скоро можно будет увидеть только в музеях.

На самом деле произошло обратное. Транспортные пробки стали настоящей проблемой и неотъемлемой чертой городской жизни. Люди в рекордных количествах едут за рубеж, вследствие

ВВЕДЕНИЕ

чего туризм превратился в одну из наиболее стремительно развивающихся отраслей. Покупатели, несмотря на экономический кризис, наводняют торговые площади. Университеты, вместо того чтобы продвигать виртуальное образование, по-прежнему регистрируют рекордное количество студентов. Конечно, число людей, которые предпочитают работать дома или общаются с коллегами на телеконференциях, выросло и продолжает расти, но города вовсе не пустеют. Вместо этого они превращаются в громадные мегаполисы и разрастаются во всех направлениях. Да, сегодня очень просто вести видеоразговоры в Интернете, но большинство людей неохотно снимается на видео и предпочитает встречаться с друзьями «в реале». И разумеется, Интернет кардинально изменил весь медиаландшафт, и теперь медиагиганты размышляют о том, как лучше зарабатывать в Сети. Все это так, но об исчезновении телевидения, радио и живого театра речи не идет. Огни Бродвея и не думают гаснуть.

Принцип пещерного человека

Почему же не оправдались предсказания, о которых мы говорили? Мне кажется, люди в основном не идут на подобные изменения из-за того, что я называю Принципом пещерного человека. Генетические и палеонтологические данные говорят о том, что современный человек, который выглядел уже в точности, как мы с вами, вышел из Африки более 100 000 лет назад, и нет никаких указаний на дальнейшие серьезные изменения в структуре мозга или личности вида *Homo sapiens*. Анатомически человек того времени идентичен современному человеку: если вымыть его, побрить, одеть в костюм-тройку и привести на Уолл-стрит, физически он будет не отличим от окружающих. Из этого можно сделать простой вывод: наши нужды и мечты, наша личность и наши желания, вероятно, не слишком изменились за последние 100 000 лет. Вероятно, мы мыслим примерно так же, как наши пещерные предки.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Все очень просто: всякий раз, когда возникает конфликт между современной техникой и желаниями наших примитивных предков, эти самые примитивные желания всегда побеждают. Всегда. Это и есть Принцип пещерного человека. К примеру, пещерному человеку необходимо было «доказательство успешной охоты». Недостаточно в красках описать, какой замечательный олень, скажем, от тебя ушел или какая громадная рыба сорвалась с крючка. Другое дело — свежая добыча в руках или на плечах, а охотничьи рассказы умеет выдумывать любой неудачник. Точно так же и сегодня: имея дело с электронными документами, мы нуждаемся в вещественном подтверждении — распечатке. Мы инстинктивно не доверяем электронам, бегающим по компьютерному экрану, а потому распечатываем письма и отчеты, даже когда в этом нет необходимости. Именно поэтому безбумажный офис оказался пустышкой.

Аналогично этому наши предки всегда любили встречаться с друзьями и врагами лицом к лицу. Такие встречи позволяют налаживать отношения с окружающими и читать их скрытые эмоции. Наверное, поэтому города не спешат пустеть. Очевидно, к примеру, что если босс хочет как следует оценить каждого сотрудника, то сделать это при личной встрече гораздо проще, чем через компьютер. Видя собеседника перед собой, человек может читать язык тела и получать таким образом ценную — причем неконтролируемую, подсознательную — информацию. Общаясь с людьми, мы ощущаем связь с ними и в то же время можем по множеству мелких, почти незаметных признаков определять, какие мысли возникают у собеседника в голове. А все потому, что много тысяч лет назад наши предки-приматы, еще не придумавшие членораздельную речь, обменивались мыслями и эмоциями почти исключительно при помощи языка тела.

Именно поэтому кибертуризм умер, не успев родиться. Одно дело — рассматривать изображение Тадж-Махала и совсем другое — увидеть его своими глазами и иметь потом возможность похвалиться этим. Точно так же слушать записи любимого

ВВЕДЕНИЕ

го исполнителя — далеко не то же самое, что присутствовать на живом концерте, видеть своего кумира и ощущать энтузиазм ликующей толпы. А это означает, что, сколько ни скачивай самые реалистичные записи любимого спектакля или концертов знаменитости, все это никак не сравнится с присутствием на настоящем спектакле или реальной встречей с известным человеком. Поклонники знаменитостей прилагают неимоверные усилия ради того, чтобы получить автограф своего кумира на фотографии или концертном билете, хотя точно такую же картинку можно совершенно бесплатно скачать из Интернета.

Теперь ясно, почему не сбылось предсказание о том, что Интернет сотрет с лица земли телевидение и радио. Когда кино и радио только появились, многие кинулись предсказывать скорую смерть театра. Телевидение породило предсказания скорой кончины кино и радио. На самом же деле мы пользуемся сегодня и первым, и вторым, и третьим, да и в театр захаживаем. Вывод очевиден: новая медиасреда не уничтожает предыдущие варианты, но сосуществует с ними, образуя смесь. Постоянно меняется лишь процентный состав этой смеси и взаимоотношения ее компонент. Всякий, кто сумеет точно предсказать состав медиасмеси в будущем, сможет без труда разбогатеть.

Причина в том, что наши отдаленные предки всегда стремились увидеть все интересное и важное собственными глазами, не полагаясь на чужие рассказы. Чтобы выжить в лесу, надо все знать точно, а не по слухам. Так что и через сто лет мы по-прежнему будем ходить в театр, чтобы посмотреть живой спектакль, будем гоняться за знаменитостями — ведь это древнее наследие нашего далекого прошлого.

Помимо всего прочего мы потомки хищников и охотников. Поэтому мы любим наблюдать за другими и сидим часами перед телевизором, пялясь на нелепые выходки своих братьев, но испытываем беспокойство всякий раз, когда чувствуем, что кто-то наблюдает за нами. Более того, ученые подсчитали, что человек начинает нервничать, если кто-то незнакомый смотрит на него

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

около четырех секунд. Примерно через десять секунд объект наблюдения начинает беситься и проявлять агрессивность. Вот почему первые телефоны с картинкой потерпели фиаско. К тому же кому охота причесываться всякий раз, прежде чем ответить на телефонный звонок? (Сегодня, после нескольких десятков лет медленных и болезненных доработок, видеоконференции наконец начинают завоевывать популярность.)

Кстати говоря, теперь действительно можно получать образование на виртуальных курсах. Но университеты полны желающих учиться традиционным способом, ведь личное общение с профессорами, которые могут уделить внимание каждому и ответить на самые необычные вопросы, определенно предпочтительнее онлайн-курсов. А при поступлении на работу диплом университета по-прежнему ценится куда выше, чем диплом каких-нибудь интернет-курсов.

Идет непрерывное соревнование между высокими технологиями и личным присутствием; с одной стороны — сидение в кресле перед телевизором, с другой — желание потрогать все руками и во всем убедиться лично. В этом соревновании нет победителей: мы хотим и то и другое. Вот почему в век киберпространства и виртуальной реальности у нас до сих пор есть театр, рок-концерты, газеты и туризм. Но если человеку предложить на выбор бесплатный портрет любимой музыкальной знаменитости и реальные билеты на ее концерт, он наверняка выберет билеты.

Вот и весь Принцип пещерного человека: мы хотим всё и сразу, но если приходится выбирать, то выбираем, подобно нашим пещерным предкам, личное присутствие.

Но у этого принципа существует одно немаловажное следствие. В 1960-х гг., когда ученые только создавали Интернет, большинство видело в нем образовательную и научную площадку, мощное орудие прогресса. Многие первопроходцы Интернета пришли в ужас, когда в самом скором времени он превратился в то, чем является сегодня, — своеобразный Дикий Запад,

ВВЕДЕНИЕ

где не действуют никакие законы и ограничения. На самом деле этого и стоило ожидать. Следствие из Принципа пещерного человека гласит: если хотите предсказать социальные отношения людей в будущем, просто представьте себе, какими были эти отношения 100 000 лет назад, и умножьте на миллиард. Станет ясно, что ускоренными темпами будут развиваться механизмы распространения слухов и сплетен, социальные сети и всевозможные развлечения. Вообще, в племенном обществе слухи жизненно важны; это средство быстрого распространения информации, в первую очередь о вождях и тех членах племени, которые должны служить образцом для подражания. Те, кто не включен в сеть распространения слухов, часто не выживают и не могут передать свои гены потомству. Сегодня о тех же закономерностях свидетельствуют длинные ряды стоек, сплошь забитых глянцевыми журналами со сплетнями об известных людях, и расцвет той разновидности культуры, в которой бал правят знаменитости. Единственная разница в том, что возможности средств массовой информации, а значит, и масштабы племенных сплетен невероятно выросли, и теперь любой слух может за долю секунды многократно обогнуть земной шар.

Стремительное разрастание социальных сетей, едва ли не за одну ночь превратившее молодых неопытных предпринимателей в миллиардеров, застало многих аналитиков врасплох, но на самом деле это проявление все того же принципа. В эволюционной истории человечества тот, кто умел поддерживать большие социальные сети, в критический момент мог рассчитывать на них как на источник средств, советов и помощи.

Наконец, индустрия развлечений и дальше будет стремительно расти. Нам не всегда нравится это признавать, но основная часть нашей культуры базируется на развлечениях. После охоты наши предки любили расслабиться и развлечься. И дело не только в том, что развлечения помогают налаживать контакты с окружающими; они также помогают человеку утвердиться на определенной позиции в иерархии племени. Неслучайно

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

танцы и пение, составляющие важную часть традиционных развлечений, играют особую роль в животном царстве, где самцы с их помощью демонстрируют противоположному полу свои достоинства. Когда птицы-самцы поют красивые и сложные мелодии или участвуют в сложных брачных ритуалах, они, как правило, преследуют одну-единственную цель — показать партнерше, что они здоровы, сильны, свободны от паразитов и обладают хорошими генами, которые стоило бы передать будущим поколениям.

Так и искусство возникло не только «для красоты»; оно сыграло важную роль в эволюции человеческого мозга, в котором значительная часть информации обрабатывается символично.

Так что если мы не изменим генетически саму основу человеческой личности, то и в будущем таблоидные сплетни и социальные сети будут не уменьшаться в масштабах, а только расти и шириться.

Наука как клинок

Когда-то давно я посмотрел кино, которое навсегда изменило мое отношение к будущему. Фильм назывался «Запретная планета», а сюжет его был основан на шекспировской пьесе «Буря». В этом фильме астронавты встречаются с представителями древней цивилизации, обогнавшей человечество в развитии на миллионы лет. Эти существа достигли окончательной цели развития: бесконечных возможностей без применения каких бы то ни было технических средств, т. е. научились делать почти все одной только силой мысли. Их мысли были подключены к колоссальным термоядерным станциям, скрытым в глубинах планеты; эти станции претворяли практически любое желание в жизнь. Иными словами, существа на этой планете обрели силу богов.

Со временем мы тоже обретем такие возможности, но ждать этого миллионы лет нам не придется. Хватит и одного столетия; зерна будущего можно разглядеть уже сегодня, в со-

ВВЕДЕНИЕ

временных технологиях. Но в фильме была и мораль; в конце концов обретенные божественные возможности погубили цивилизацию.

Конечно, наука — обоюдоострый клинок; она порождает не меньше проблем, чем решает, но неизменно на более высоком уровне. Сегодня в мире борются две тенденции: одна стремится создать планетарную цивилизацию, толерантную, научную и процветающую, другая — прославляет анархию и невежество, способные разорвать ткань человеческого общества*. Мы, как и наши далекие предки, склонны к сектантству, фундаментализму, иррациональным страстям, но есть и существенная разница: у нас, в отличие от предков, есть ядерное, химическое и бактериологическое оружие.

В будущем мы превратимся из пассивных наблюдателей танца природы в его хореографов, владык природы и, наконец, в ее хранителей. Будем надеяться, что человечество сумеет укротить в себе варварство далекого прошлого и научится пользоваться клинком науки мудро и хладнокровно.

А теперь в путь, в воображаемое путешествие по ближайшим 100 годам научных открытий и инноваций, о которых рассказали мне те, кто принимает в этом непосредственное участие. Нас ждет дикая скачка по полям стремительно развивающихся компьютерных технологий, телекоммуникаций, биотехнологий, искусственного интеллекта и нанотехнологий. От всего, чему мы станем свидетелями, без сомнения, будет зависеть будущее цивилизации.

* Предавая анафеме противников глобализации, автор, очевидно, исходит из того, что образование планетарной цивилизации — не только закономерность, но и безусловное благо. Однако признать таковым планетарную цивилизацию в том виде, в каком ее видит Митио Каку и в каком она действительно пытается распространиться на весь мир, чрезвычайно трудно. — *Прим. пер.*

1. БУДУЩЕЕ КОМПЬЮТЕРА

ПРЕВОСХОДСТВО СОЗНАНИЯ НАД МАТЕРИЕЙ

Человеку свойственно принимать границы собственного кругозора за границы мира.

Артур Шопенгауэр

Ни одному пессимисту в истории не удалось раскрыть тайны звезд, доплыть до неведомой земли или открыть новые горизонты человеческого разума.

Хелен Келлер

Живо вспоминается, как почти двадцать лет назад я сидел в кабинете Марка Визера (Mark Weiser) в Кремниевой долине и он рассказывал мне о том, как представляет себе будущее. Размахивая руками, он возбужденно говорил, что вот-вот начнется революция, которой суждено изменить мир. Визер входил в компьютерную элиту и работал в Исследовательском центре Херох в Пало-Альто (именно они были пионерами в разработке персонального компьютера, лазерного принтера и передовой архитектуры типа Windows с графическим пользовательским интерфейсом). При этом он был бунтарем и иконоборцем, презирал традиционную мудрость и играл в диком рок-ансамбле.

Тогда — кажется, с тех пор прошла целая жизнь — персональные компьютеры были еще новинкой. Они только начинали входить в жизнь обычных людей, да и люди пока плохо понимали, стоит ли покупать для табличных вычислений, набора и обработки текстов большой, громоздкий настольный компьютер. Интернет еще оставался по большей части закрытым владением ученых вроде меня, обменивавшихся между собой загадочными формулами на тайном языке. Бурлили жаркие споры о том, не погубит ли этот ящик на столе нашу цивилизацию

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

своим холодным непрощающим взором, не дегуманизирует ли природу человека. Даже политическому аналитику Уильяму Бакли (William F. Buckley) приходилось защищать текстовый процессор от интеллектуалов, которые восставали против него и клялись никогда не притрагиваться к компьютеру, называя его инструментом филистимлян.

Именно в эту противоречивую эпоху Визер ввел понятие «глобальные вычисления». Он видел много дальше эпохи персональных компьютеров и предсказывал, что когда-нибудь электронные чипы станут настолько дешевыми и доступными, что найти их можно будет везде — в одежде, в мебели, в стенах наших домов, даже в нашем собственном теле. И все они будут подключены к Интернету, будут делиться данными, делать нашу жизнь приятнее, отслеживать все наши пожелания. Куда бы мы ни направились, вездесущие чипы будут молча выполнять наши желания. Среда обитания человека как бы оживет.

Для своего времени мечта Визера была совершенно фантастической, даже абсурдной. Персональные компьютеры тогда были дороги и в большинстве своем даже не подключались к Интернету. Мысль о том, что миллиарды крохотных чипов когда-нибудь станут дешевле гороха, казалась бредом.

А потом я спросил, почему он так уверен в этой своей революции. Он спокойно ответил, что в данный момент мощность компьютеров растет экспоненциально и пока конца этому не видно. Прикиньте сами, предложил он мне. Компьютерная революция — всего лишь дело времени. (Грустно только, что сам Визер не увидел предсказанной революции; он умер от рака в 1999 г.)

Движущей силой пророческой мечты Визера было утверждение, известное как закон Мура — эмпирическое правило, управлявшее развитием компьютерной индустрии на протяжении полувека с лишним. Это правило, как метроном, задавало темп развития современной цивилизации. Сам по себе закон Мура очень прост: он гласит, что мощность компьютеров

БУДУЩЕЕ КОМПЬЮТЕРА

удваивается примерно каждые полтора года. Сформулировал его в 1965 г. Гордон Мур, один из основателей корпорации Intel. Действие этого закона обеспечило кардинальную перестройку мировой экономики, накопление сказочных богатств и необратимое изменение образа жизни современного человека. Если обозначить падение цен на компьютерные чипы, а также стремительный рост их скорости, мощности обработки данных и памяти на графике, построенном в логарифмическом масштабе, получим, что данные за последние пятьдесят лет замечательно ложатся на прямую. Более того, если добавить в этот график данные по ламповым и даже механическим вычислительным машинам и устройствам, прямую Мура можно протянуть в прошлое более чем на 100 лет.

Экспоненциальный рост иногда сложно себе представить, потому что человек, вообще говоря, мыслит линейно. Изменения накапливаются плавно и постепенно, так что иногда их вообще не замечаешь. Но проходит несколько десятков лет — и все вокруг неузнаваемо меняется.

Согласно закону Мура с каждым Рождеством ваши компьютерные игры становятся чуть ли не вдвое более мощными (в смысле числа используемых транзисторов), чем это было год назад. Более того, с течением лет этот ежегодный прирост достигает громадных размеров. К примеру, мы получаем на день рождения почтовую открытку с чипом, который исполняет для нас поздравительную песенку (обычное дело, ничего особенного). Так вот, этот чип по вычислительной мощности превосходит все, чем владели союзники в 1945 г. Гитлер, Черчилль или Рузвельт пошли бы на убийство ради того, чтобы заполучить этот чип. А мы? Пройдет день рождения — и мы просто выбросим открытку вместе с чипом. Сегодня в вашем сотовом телефоне заключена бóльшая вычислительная мощность, чем та, что находилась в распоряжении NASA в 1969 г., когда два его астронавта впервые ступили на Луну. Видеоигры, которым для симуляции трехмерных объектов и сцен требуются громад-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

ные вычислительные мощности, используют больше компьютерных ресурсов, чем универсальные вычислительные машины прошлых десятилетий. Сегодняшняя игровая приставка стоимостью 300 долларов по вычислительной мощности сравнима с военным суперкомпьютером 1997 г., стоившим не один миллион.

Разницу между линейным и экспоненциальным ростом вычислительных мощностей можно наглядно представить себе, прочитав статью 1949 г. Тогда журнал *Popular Mechanics* предрек, что компьютеры в будущем будут развиваться линейно и со временем, возможно, всего лишь удвоят или утроят мощность. Автор статьи писал: «Если сегодня в вычислителе, таком как ENIAC, содержится 18 000 электронных ламп и весит он 30 тонн, то в будущем компьютеры, возможно, будут содержать всего 1000 ламп и весить всего 1,5 тонны».

(Надо отметить, что мать-природа любит и ценит мощь экспоненциальной зависимости. Один-единственный вирус, захватив человеческую клетку, способен вынудить ее произвести несколько сотен копий самого себя. Увеличивая собственную численность в каждом поколении в 100 раз, один вирус может всего за пять поколений превратиться в 10 миллиардов точно таких же вирусов. При этом не стоит удивляться, что один-единственный вирус, проникая в человеческий организм, где функционируют триллионы здоровых клеток, всего через неделю или около того обеспечивает вам простуду.)

Мощность компьютеров за прошедшие несколько десятилетий многократно выросла, но этого мало. Принципиально изменилась техническая база, на которой реализуются вычислительные мощности, а с ними и вся экономика. Посмотрим, как это происходило.

- **1950-е гг.** Компьютеры на вакуумных электронных лампах были гигантскими устройствами и представляли собой целые залы с настоящими джунглями из проводов, катушек и стальных шкафов. Только воен-

БУДУЩЕЕ КОМПЬЮТЕРА

ные были достаточно богаты, чтобы финансировать эти чудовищные аппараты.

- **1960-е гг.** Электронные лампы сменились транзисторами, и компьютеры среднего класса постепенно вышли на коммерческий рынок.
- **1970-е гг.** Интегральные схемы с сотнями транзисторов позволили создать мини-компьютер размером с большой письменный стол.
- **1980-е гг.** Микросхемы с десятками миллионов транзисторов сделали возможными персональные компьютеры, которые уже умещались в чемоданчике.
- **1990-е гг.** Интернет соединил сотни миллионов компьютеров в единую глобальную компьютерную сеть.
- **2000-е гг.** Глобальные вычисления освободили микросхему от компьютера, так что чипы теперь повсюду.

Таким образом, прежняя парадигма (один процессор внутри настольного компьютера или лэптоп, соединенный с обычным компьютером) постепенно сменяется новой (тысячи процессоров, разбросанных по всевозможным устройствам, включая мебель, бытовую технику, картины, стены, автомобили и одежду, и все они подсоединены к Интернету и общаются между собой).

Когда в устройстве — все равно каком — появляется процессор, самая обычная вещь чудесным образом преобразуется. Пишущая машинка превратилась в текстовый процессор. Обычный телефон — в сотовый. Видео- и фотокамеры — в умные цифровые устройства. Механические игровые автоматы — в видеоигры. Фонографы — в iPod. Самолеты, управляемые человеком, — в несущие смерть беспилотники-дроны. И в каждом случае промышленность, выпускавшая соответствующие устройства, умирала и возрождалась полностью обновленной.

Со временем практически все вокруг нас станет «умным». Микросхемы настолько подешевеют, что будут стоить меньше

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

пластиковой упаковки и заменят собой штрихкоды. Компании, не сделавшие свою продукцию «умной», в один прекрасный день будут вытеснены с рынка конкурентами, которые вовремя об этом позаботились.

Разумеется, вокруг нас по-прежнему будет немало компьютерных мониторов, но внешне они будут напоминать скорее кусок обоев, картину в рамке или семейную фотографию, а не сегодняшний компьютер. Представьте все картины и фотографии, которые украшают сегодня ваш дом; а теперь вообразите, что каждая из них «оживет», станет подвижной и свяжется с Интернетом. Подвижные изображения будут стоять не больше статичных и постепенно сменят их на стенах наших гостиных.

Судьба компьютеров — как и других массовых технологий, таких как электричество, бумага и водопровод, — стать невидимыми, т. е. вращаться в ткань нашей жизни и нашего мира, быть везде и нигде. Их предназначение — молча и незаметно исполнять наши желания.

Сегодня, входя в комнату, мы автоматически ищем взглядом электрический выключатель, поскольку уверены: дом электрифицирован, в стенах есть проводка, и в комнате можно включить свет. В будущем первое, что мы будем искать при входе в незнакомую комнату, — это интернет-портал, ведь мы будем уверены: это «умная» комната. Романист Макс Фриш (Max Frisch) однажды сказал: «Техника — это способность так организовать свой мир, чтобы с ней не приходилось сталкиваться».

Кроме всего прочего, закон Мура позволяет нам предсказывать на ближайшее будущее эволюцию компьютера. В последующие десять лет процессоры объединятся со сверхчувствительными датчиками; компьютеры научатся видеть и различать болезни, потенциальные происшествия и несчастные случаи и будут заранее, пока ситуация не вышла из-под контроля, предостерегать человека о возможных опасностях. Они научатся в какой-то степени узнавать нас по голосам и лицам, а также разговаривать и общаться с человеком на формализованном языке.

БУДУЩЕЕ КОМПЬЮТЕРА

Они смогут самостоятельно создавать целые виртуальные миры, о которых сегодня мы можем только мечтать. Около 2020 г. стоимость электронного чипа, возможно, упадет настолько, что процессоры станут дешевле бумаги. Все вокруг наполнится миллионами чипов, способных выполнять наши команды.

В конце концов само слово «компьютер» будет забыто.

Чтобы удобнее было говорить о будущем прогрессе науки и техники, я разделил каждую главу книги на три части: ближайшее будущее (от сего дня до 2030 г.), середина века (с 2030 по 2070 г.) и, наконец, далекое будущее, с 2070 по 2100 г. Конечно, такое деление условно, а датировки приблизительны, но они помогут нам ориентироваться во временных рамках различных тенденций, о которых пойдет речь в книге.

Стремительный рост вычислительных мощностей к 2100 г. обеспечит нам едва ли не божественное могущество и позволит управлять окружающей действительностью при помощи одной только силы мысли. Подобно мифическим богам, которые умели мановением руки или легким кивком головы двигать предметы и изменять человеческую жизнь, мы научимся воздействовать на вещественный мир силой своего сознания. Мы будем поддерживать постоянный мысленный контакт с электронными чипами, разбросанными повсюду в нашем окружении, и эти молчаливые слуги будут улавливать и безотказно исполнять наши мысленные приказы.

Помню, когда-то я смотрел эпизод «Звездного пути», где экипаж звездолета «Энтерпрайз» попадает на планету, населенную греческими богами, и перед астронавтами возникает бог Аполлон — гигантская фигура, способная ослепить и ошеломить земной экипаж божественными чудесами. Поначалу наука XXIII в. ничего не может противопоставить могуществу бога, который тысячи лет назад повелевал небесами античной Греции. Но стоило землянам побороть шок от встречи с греческими богами — такими знакомыми и могущественными, — как они поняли, что у могущества этих существ должен быть вполне ма-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

териальный источник и что Аполлон, скорее всего, находится в ментальной связи с центральным компьютером и мощными механизмами, которые, собственно, и исполняют его приказы. Как только экипаж нашел и уничтожил силовую станцию, Аполлон превратился в обычного смертного.

Это, конечно, всего лишь голливудская сказка. Однако экстраполируя последние научные открытия и технические достижения, ученые уже могут представить себе тот день, когда мы тоже научимся телепатически управлять компьютерами и получим силу легендарного Аполлона.

БЛИЖАЙШЕЕ БУДУЩЕЕ (с настоящего момента до 2030 г.)

Интернет-очки и контактные линзы

Сегодня мы поддерживаем связь с Интернетом при помощи компьютеров и сотовых телефонов. Но в будущем Интернет будет повсюду.

Существует несколько способов вывести связь с Интернетом на линзу. Изображение может передаваться со стекол очков через линзу глаза непосредственно на сетчатку. Можно также проецировать изображение на линзу, которая в этом случае будет играть роль экрана. Или можно прикрепить экран к оправе очков наподобие крохотной линзы, какими пользуются ювелиры. Глядя сквозь стекла очков, мы будем, будто на киноэкране, видеть перед собой интернет-экран. При этом устройство дистанционного управления в руках позволит нам управлять действиями компьютера по беспроводной связи. А можно просто шевелить пальцами в воздухе и таким образом управлять изображением — ведь компьютер постоянно регистрирует положение наших пальцев.

К примеру, ученые Вашингтонского университета с 1991 г. занимаются разработкой виртуального ретинального монитора VRD (virtual retinal display) — устройства, в котором красный,

БУДУЩЕЕ КОМПЬЮТЕРА

зеленый и синий лазерные лучи проецируются непосредственно на сетчатку глаза. При разрешении 1600×1200 точек на дюйм и угле зрения 120° VRD-монитор может создавать яркое жизненное изображение, сравнимое с картинкой на киноэкране. Устройство для генерации изображения может быть встроено в шлем, в специальные или обычные очки.

У меня еще в 1990-е гг. была возможность испытать на себе такие интернет-очки, один из первых их образцов, разработанных учеными медиалаборатории Массачусетского технологического института (MIT). Внешне этот прибор выглядел как обычные очки, только справа и немного сбоку на них была закреплена дополнительная цилиндрическая линза длиной около полудюйма. При обычном положении этой дополнительной линзы я прекрасно видел сквозь очки, но стоило слегка нажать пальцем — и крохотная линза занимала место перед глазом. При этом передо мной появлялось легко различимое изображение компьютерного экрана, на взгляд чуть меньше стандартного. Оно было удивительно четким; казалось, что смотришь прямо в экран. Более того, взяв в руки небольшое — размером с сотовый телефон — устройство с кнопками, я получил возможность управлять курсором на экране и даже печатать команды.

В 2010 г., когда я был ведущим одной из программ телеканала Science Channel, мне довелось побывать в форте Беннингс (штат Джорджия) и увидеть последнюю модель «Интернета для поля боя» армии США под названием «Пехотинец». Я надел особый шлем с закрепленным сбоку миниатюрным экранчиком. Передвинув экран так, чтобы он оказался перед глазами, я внезапно увидел поразительное зрелище: панораму поля битвы, на которой крестиками было обозначено расположение своих и вражеских войск. «Туман войны» внезапно рассеялся, GPS-сенсоры точно определили положение воинских частей, танков и зданий и обозначили на схеме местности. Стоило нажать кнопку — и изображение мгновенно изменилось, открыв

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

мне прямо на поле боя выход в Интернет и предоставив информацию о погоде, диспозиции войск, стратегии и тактике.

В более продвинутой версии прибора интернет-экран мог бы проецироваться непосредственно в глаз через контактные линзы со встроенным в пластик чипом и LCD-экраном. Бабак Парвиз (Babak A. Parviz) и его группа в Университете Вашингтона в Сиэтле разрабатывают базу для создания контактных линз с Интернетом; пока это лишь прототип, но позже такая технология, возможно, изменит обычную технику доступа в Интернет.

Парвиз считает, что одним из ближайших по времени приложений этой технологии могло бы стать устройство для постоянного контроля уровня глюкозы в крови диабетиков. Линза будет демонстрировать вам текущие значения параметров, характеризующих состояние вашего организма. Но это лишь начало. Парвиз уверен, что наступит день, когда мы сможем загружать из Интернета любые фильмы, песни, сайты или информационные сообщения и видеть их на контактной линзе-экране. По существу, линза станет экраном полнофункционального развлекательного центра, и можно будет лежа на диване наслаждаться художественными фильмами. Через этот же центр можно будет подключиться к офисному компьютеру и получить доступ к хранящимся там файлам и программам. Достаточно будет моргнуть глазом, чтобы прямо с пляжа связаться с офисом и организовать видеоконференцию.

Добавив в интернет-очки программное обеспечение для распознавания образов, вы получите возможность видеть перед собой объекты и даже лица людей. Уже сегодня некоторые программы распознавания могут узнавать заранее введенные в них лица с более чем 90%-ной точностью. И тогда уже в начале разговора вы увидите перед собой не только имя человека, но и его биографию и характеристику. В обществе это поможет избежать неловкости при встрече со знакомым человеком, имени которого вы вспомнить не можете. На многолюдной вечеринке, где собираются малознакомые или вовсе не знакомые между собой

БУДУЩЕЕ КОМПЬЮТЕРА

люди, эта функция станет еще более полезной, ведь среди гостей могут оказаться очень важные персоны, с которыми вы пока не знакомы. Описанная система поможет вам узнать их в лицо и получить о них кое-какую информацию, не прибегая к посторонней помощи, практически во время разговора. (Вспомните, как видел мир робот в фильме «Терминатор»; примерно так же будет видеть окружающее человек в интернет-очках будущего.)

Как следствие, может кардинально измениться система образования. В будущем учащиеся на экзамене смогут незаметно сканировать Интернет при помощи контактных линз и находить там ответы на любые вопросы; учителям, ориентирующимся в основном на механическое запоминание, будет трудно поймать такого ученика. Это означает, что преподавателям придется обращать особое внимание на проверку способности рассуждать и мыслить логически.

А еще можно встроить в оправу ваших интернет-очков, к примеру, крошечную видеокамеру, которая будет снимать окружающее и передавать картинку прямо в Интернет. Люди по всему миру смогут вместе с вами переживать происходящее в вашей жизни. На что бы вы ни смотрели, тысячи людей смогут увидеть это вместе с вами. Родители будут знать, чем заняты их дети. Влюбленные смогут, находясь в разлуке, делиться впечатлениями. Зрители на концертах — передавать свой восторг другим поклонникам любимых артистов. Инспекторы, посещающие отдаленные подразделения компании, смогут держать босса в курсе происходящего. (Или житейский пример: один из супругов ходит по магазину, а другой комментирует товары и выдает ценные указания по поводу покупок.)

Парвизу уже удалось изготовить плоский компьютерный чип, который можно разместить внутри полимерной пленки — контактной линзы. Он сумел также поместить в контактную линзу светодиод и теперь работает над линзой с матрицей 8 × 8 светодиодов. Его линзой можно управлять по беспроводной связи. Парвиз утверждает: «Со временем

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

подобные компоненты будут содержать сотни светодиодов, которые будут формировать перед глазом всевозможные изображения — тексты, диаграммы и фотографии. Значительная часть деталей полупрозрачна, так что пользователи смогут ориентироваться в реальном мире, не натываясь на предметы и не теряя чувства ориентации». Конечная цель исследователя — а она по-прежнему далека — создать контактную линзу из 3600 точек не более 10 мкм толщиной.

Одно из серьезных преимуществ контактных интернет-линз — низкое энергопотребление, всего несколько миллионов долей ватта, так что они очень экономны и не посадят батарейку. Еще одно преимущество — непосредственный доступ к мозгу человека без необходимости вживлять электроды (поскольку оптический нерв в определенном смысле можно считать продолжением мозга). При этом следует отметить, что глаз и оптический нерв передают информацию со скоростью, превосходящей скорость высокоскоростного кабельного соединения с Интернетом. Таким образом, контактная интернет-линза представляет собой, возможно, наиболее эффективный и высокоскоростной доступ к мозгу.

Передать изображение в глаз через контактную линзу несколько сложнее, чем через интернет-очки. Светодиод может сгенерировать световую точку, или пиксел, но необходимо добавить еще микролинзу, которая сфокусировала бы эту точку непосредственно на сетчатку. Получившееся в итоге изображение будет как бы висеть в воздухе перед вашими глазами на расстоянии немного более полуметра. В более продвинутой схеме, над которой сейчас работает Парвиз, предполагается использовать микролазеры, чтобы подать на сетчатку сразу резкое изображение. При помощи той же технологии травления, которая используется при производстве микропроцессоров для вытравливания крохотных транзисторов, можно вытравить на кремниевой подложке и крохотные лазеры примерно такого же размера — самые миниатюрные лазеры в мире. Технология

БУДУЩЕЕ КОМПЬЮТЕРА

в принципе позволяет изготовить лазеры с поперечным размером около 100 атомов. Как и с транзисторами, технически можно поместить на подложку размером с ноготь миллионы лазеров.

Автомобиль без водителя

В ближайшем будущем, вероятно, человек получит возможность, сидя за рулем, спокойно бродить по Сети и рассматривать сайты при помощи контактной интернет-линзы или интернет-очков. Дорога на работу перестанет быть такой мучительной и нудной, потому что автомобили научатся управлять собой сами. Уже сегодня машина с GPS-приемником, позволяющим определить положение в пространстве с точностью до пары метров, может проехать без водителя сотни километров. Агентство перспективных исследовательских проектов Минобороны США (DARPA) спонсировало конкурс под названием DARPA Grand Challenge, в котором научным коллективам предлагалось представить автомобили без водителя на гонку через пустыню Мохаве; за победу полагался приз — миллион долларов. Так DARPA продолжает традицию финансирования рискованных, но перспективных технологий.

(Кстати, в числе исследовательских проектов Пентагона можно назвать и Интернет, первоначальной целью которого было обеспечение связи для ученых и чиновников во время и после ядерной войны, и систему GPS, разработанную для наведения межконтинентальных ракет. Но позже, после завершения холодной войны, и Интернет, и GPS были рассекречены и стали общедоступными.)

Первый конкурс в 2004 г. получился странным — ни один автомобиль без водителя не смог проехать 150 миль по пересеченной местности и пересечь финишную линию. Все роботизированные машины либо сломались, либо сбились с пути. Однако уже в следующем году пять машин сумели выполнить

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

новое задание, даже более сложное: им нужно было проехать по дорогам, где было 100 крутых поворотов, три узких тоннеля и участки, проходящие по краю пропасти.

Некоторые критики утверждают, что роботизированные автомобили научатся, возможно, ездить по пустыне, но никогда не смогут нормально ориентироваться в забитом машинами мегаполисе. Поэтому в 2007 г. DARPA объявило еще более амбициозный проект — Urban Challenge, в котором машины-роботы должны были проехать 60 сложных миль по имитированной городской территории не больше чем за шесть часов. Машины должны были соблюдать все правила дорожного движения, разъезжаться в пути с другими участниками конкурса и корректно проезжать перекрестки. Шесть команд успешно завершили дистанцию, а три лучшие получили призы — соответственно два, один и полмиллиона долларов.

Цель Пентагона — сделать треть сухопутных сил США автономными к 2015 г. Вполне возможно, что такие технологии спасут множество жизней, ведь известно, что чаще всего американские солдаты гибнут от заложенных на дорогах мин. В будущем многие транспортные средства армии США будут ездить вообще без водителей. Для обычного же потребителя такая технология будет означать, что для управления автомобилем достаточно нажать кнопку, а остальное сделает робот; человек «за рулем» сможет работать, отдыхать, рассматривать окружающие пейзажи, смотреть кино или бродить по Интернету.

На съемках одной из научно-популярных программ для канала «Дискавери» мне и самому довелось поехать в такой машине. Это был обтекаемый спортивный автомобиль, модифицированный и полностью роботизированный инженерами из Университета штата Северная Каролина. Он был снабжен компьютерами, по мощности в восемь раз превосходящими обычный PC, и умел ездить совершенно автономно. Надо сказать, что втиснуться внутрь этой машины оказалось непросто — слишком там все было забито оборудованием. Везде — на сиденьях, на па-

БУДУЩЕЕ КОМПЬЮТЕРА

нели управления, на полу — громоздились какие-то сложные на вид электронные устройства. Взявшись за рулевое колесо, я заметил резиновый шнур и небольшой моторчик, при помощи которого компьютер мог, собственно, поворачивать руль и управлять машиной.

Я повернул ключ в замке, надавил на газ и вывел машину на шоссе, а затем щелкнул переключателем, давая команду компьютеру взять управление на себя. После этого я снял руки с рулевого колеса, и автомобиль поехал дальше сам. Я ощущал уверенность и полностью доверял компьютеру, который непрерывно вносил крохотные поправки и чуть доворачивал руль при помощи моторчика. Поначалу было немного странно видеть, как рулевое колесо и педаль газа двигаются сами по себе. Казалось, что управление взял на себя призрачный невидимый водитель, который находится где-то рядом, но через некоторое время я привык. Более того, чуть позже я с удовольствием расслабился и только смотрел, как машина катит вперед со сверхчеловеческим мастерством и точностью. Мне же оставалось лишь радоваться жизни и рассматривать пейзажи за окном.

Сердце роботизированной машины — система GPS, позволяющая определить положение в пространстве с точностью до пары метров. (Специалисты утверждают, что иногда она определяет положение с точностью до десятков сантиметров*.) Сама по себе система GPS — чудо современной техники. Каждый из примерно 30 спутников системы, находящихся на околоземной орбите, ведет постоянную радиопередачу с использованием собственного кода. GPS-приемники в машине принимают эти сигналы. Все сигналы немного искажаются, поскольку спутники в этот момент находятся на разном расстоянии от вас и движутся относительно вас в разных направлениях. Это искажение называется доплеровским сдвигом. (К примеру,

* При наличии доступа к военным сигналам типа P/Y. При использовании только гражданского сигнала среднеквадратичная ошибка составляет порядка 2,5 м. — *Прим. пер.*

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

радиоволны сжимаются, если спутник приближается к вам, и растягиваются, если удаляется.) Проанализировав небольшое искажение частот сигналов* от трех или четырех спутников, компьютер машины точно определяет нашу позицию.

Кроме того, в бампере у машины установлен радар, так что она буквально чувствует препятствия. В будущем подобные сенсоры приобретут громадное значение и каждый автомобиль, почувствовав неминуемое столкновение, автоматически примет меры. В настоящее время в автокатастрофах в США погибает почти 40 000 человек ежегодно. Не исключено, что в будущем выражения «дорожно-транспортное происшествие» и «автокатастрофа» просто исчезнут из языка.

Автомобильные пробки, возможно, когда-нибудь тоже уйдут в прошлое. Центральный компьютер сможет следить за движением всех машин на дороге и одновременно поддерживать связь со всеми роботизированными машинами. Он без труда заметит пробки и заторы на маршруте. В эксперименте, проведенном к северу от Сан-Диего на федеральном шоссе № 15, в дорожное полотно были встроены специальные датчики, позволявшие центральному процессору следить за ситуацией. В будущем в случае затора на дороге компьютер будет перехватывать у водителя управление автомобилем и обеспечивать свободное движение.

Автомобиль будущего научится чувствовать и другие опасности. Тысячи людей гибнут и получают травмы, потому что водитель уснул за рулем; особенно часто это происходит в ночное время или во время долгого монотонного пути. Но уже сегодня можно заставить компьютер следить за вашими глазами и ре-

* Основой определения координат пользователя является измерение не частотных сдвигов, а лишь времени прохождения сигналов от нескольких спутников, находящихся на разных (но известных в каждый момент) расстояниях от него. Для определения трех пространственных координат в принципе достаточно обработать сигналы от четырех спутников, хотя обычно приемник «берет в расчет» все исправные спутники, которые он слышит в данный момент. Существует также более точный (но и более сложный в реализации) метод, основанный на измерении фазы принимаемого сигнала. — *Прим. пер.*

БУДУЩЕЕ КОМПЬЮТЕРА

гистрировать признаки утомления и сонливости, а затем подавать звуковой сигнал и будить водителя. Если это не поможет, компьютер возьмет управление на себя. Кроме того, компьютер может распознать присутствие внутри автомобиля избыточного количества алкоголя; не исключено, что такая мера поможет снизить количество аварий, связанных с алкоголем.

Переход к умным автомобилям, конечно, произойдет не мгновенно. Сначала военные внедрят их у себя и в процессе эксплуатации устранят ошибки и недостатки. Затем роботизированные машины выйдут на рынок и в первую очередь появятся на длинных и скучных перегонах федеральных трасс. Затем они понемногу проникнут в пригороды и крупные города, но в случае необходимости водитель будет иметь возможность взять управление на себя. Пройдет какое-то время, и люди будут удивляться, как раньше жили без них.

Экраны на четыре стены

В будущем компьютеры не только облегчат нам поездки на работу и сократят число аварий на дорогах; они также помогут нам поддерживать связь с друзьями и знакомыми. Сейчас некоторые жалуются, что компьютерная революция изолировала нас друг от друга и дегуманизировала человеческие отношения. На самом деле все наоборот: компьютерная революция позволила нам экспоненциально расширить круг друзей и знакомых. В будущем, когда человеку станет одиноко или скучно, он сможет попросить настенный экран организовать для него партию в бридж с другими одинокими людьми по всему свету. Если понадобится помощь в планировании отпуска, организации путешествия или поиске партнера для свидания, ее окажет все тот же настенный интернет-экран.

В будущем при включении компьютера на экране будет появляться дружелюбное лицо (вы сможете подбирать его по своему вкусу и время от времени менять). Этого виртуального

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

человека можно будет попросить спланировать для вас отпуск. Он (или она, конечно), зная заранее ваши пристрастия и предпочтения, просканирует Интернет и выдаст вам возможные варианты по наилучшим ценам.

Кроме того, через настенные экраны можно будет устраивать семейные встречи и собрания. Все четыре стены вашей гостиной будут заняты экранами, и при желании вы сможете окружить себя лицами родных, находящихся далеко от вас. Может быть, кто-то не сможет приехать на важный семейный вечер — и тогда семья соберется на экранах и отметит встречу, наполовину реальную, наполовину виртуальную. Или при помощи контактных линз можно будет увидеть родных и близких перед собой как будто наяву, притом что на самом деле они в этот момент будут находиться от вас за тысячи километров. (Некоторые комментаторы отмечают, что Пентагон первоначально задумывал Интернет как «мужское» устройство — приспособление для борьбы с врагом в военное время. Но сейчас Интернет стал в основном «женским», он используется как средство сближения и общения с людьми.)

Телеконференции сменяются телеприсутствием — в ваших очках или контактных линзах появится полное трехмерное озвученное изображение человека, с которым вы хотите пообщаться. На совещании, к примеру, все будут сидеть за столом, при этом некоторые из участников будут видны только в вашей контактной интернет-линзе. Вынув линзу, вы увидите, что места этих людей за столом пусты. В линзе же вы будете видеть всех участников на местах. (На самом деле отсутствующие участники будут сидеть за похожим столом в другом месте, а специальная камера будет их снимать и передавать изображение через Интернет.)

В фильме «Звездные войны» зрители с изумлением увидели, как в воздухе появляются трехмерные изображения людей. Но в будущем компьютерные технологии позволят нам видеть подобные изображения в контактных линзах, очках или на компьютерных настенных экранах.

БУДУЩЕЕ КОМПЬЮТЕРА

Поначалу человек, наверное, будет испытывать неловкость, разговаривая с пустой комнатой. Но вспомним: еще при появлении телефонов некоторые критиковали их за то, что человек при этом должен разговаривать с неодушевленным предметом. Люди опасались, что телефон постепенно полностью заменит собой личные контакты людей. В принципе, критики были правы, но сегодня нас нисколько не смущают разговоры с неодушевленными предметами и далекими голосами, потому что телефон чрезвычайно расширил наш круг контактов и обогатил нашу жизнь.

Ваша личная жизнь также может сильно измениться. Если вы одиноки, ваш интернет-экран, зная ваши прошлые предпочтения, желаемые физические и социальные характеристики партнера, найдет для вас в Интернете подходящую кандидатуру. А поскольку люди иногда лгут в своих личных данных, экран, в качестве дополнительной предосторожности, автоматически проверит историю каждого кандидата.

Гибкая электронная бумага

Цены на плоские телеэкраны, когда-то превышавшие 10 000 долларов, всего за десять лет упали более чем в 50 раз. В будущем плоские экраны на целую стену также быстро упадут в цене. Настенные экраны на основе органических светодиодов OLED станут гибкими и сверхтонкими. Органические светодиоды во всем похожи на обычные, но работают в них органические составы, которые можно изготовить в виде полимера, — соответственно, они будут гибкими. Каждый пиксел на гибком экране будет соединен с транзистором, который будет управлять цветом и интенсивностью световой точки.

Ученые из Центра разработки гибких дисплеев при Университете штата Аризона работают с компанией Hewlett-Packard и Армией США над усовершенствованием соответствующих технологий. После этого рыночные механизмы повлияют на то,

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

чтобы цена на них упала и гибкие экраны стали доступны обычным потребителям. В конце концов этот процесс может привести к тому, что цена гибкого настенного экрана сравняется с ценой обычных обоев. Так что в будущем, оклеивая стены обоями, мы одновременно без дополнительных затрат будем получать и гибкие настенные экраны. Когда рисунок обоев на стенах надоест, его можно будет сменить одним нажатием кнопки. Отделать заново дом или квартиру будет проще простого.

Технология гибких экранов произведет революцию и в том, как мы взаимодействуем с нашими портативными компьютерами. Нам не потребуется таскать с собой тяжеленные ноутбуки. Портативный компьютер, возможно, будет представлять собой просто лоскут экрана на органических светодиодах, который в любой момент можно будет сложить и спрятать в бумажник. В мобильном телефоне появится большой экран, который можно будет вытянуть наружу, как свиток, и пользоваться им, вместо того чтобы, напрягая глаза, печатать на крошечной клавиатуре.

Эта технология делает возможными и совершенно прозрачные компьютерные экраны. В недалеком будущем можно представить следующую сцену: человек смотрит в окно, затем взмахивает руками — и окно внезапно превращается в экран компьютера. Или на нем появляется изображение, любое, какое захочется. Скажем, вид за другим окном, находящимся за тысячами километров от этого.

Сегодня мы легко относимся к бумаге; можем записать что-то на листе и не задумываясь выкинуть его за ненадобностью. В будущем, возможно, появятся «одноразовые компьютеры», никак особенно не идентифицируемые. На таком компьютере тоже можно будет записать что-нибудь, а потом, когда надобность в нем отпадет, просто выбросить. Сегодня человек организует рабочий стол и мебель в кабинете вокруг компьютера; именно компьютер — средоточие всякого офиса. В будущем настольных компьютеров, вероятно, не будет, а файлы мы будем

БУДУЩЕЕ КОМПЬЮТЕРА

носить с собой — с места на место, из комнаты в комнату или из офиса домой. Исчезнут разрывы в информации и необходимость в постоянной синхронизации данных. Сегодня в любом аэропорту можно увидеть пассажиров с портативными компьютерами в руках. Оказавшись в гостинице, такой путешественник сразу же подключается к Интернету, а по возвращении домой ему приходится перегружать файлы в настольный компьютер. В будущем вам не потребуется таскать компьютер за собой; везде, где бы вы ни оказались, в любой момент — даже находясь в машине или поезде — вы сможете подключиться к Интернету при помощи стен, картин и мебели. (Первый пример подобного подхода — так называемые «облачные» вычисления, когда платить вам приходится не за компьютер, а за компьютерное время, подобно тому как платят за воду или электричество.)

Виртуальные миры

Цель повсеместного использования компьютеров — сделать их неотъемлемой частью этого мира, наполнить окружающую среду процессорами и умными вещами. У виртуальной реальности обратная цель — дать человеку возможность войти в мир компьютера. Первыми, еще в 1960-е гг., виртуальную реальность придумали военные для тренировки летчиков и солдат с использованием симуляторов. Пилоты, сидя перед экраном компьютера и орудуя джойстиком, могли осваивать приземление на палубу авианосца. В случае ядерной войны генералы и политические лидеры, находящиеся в разных местах, могли бы тайно встретиться в киберпространстве.

Сегодня, почти через полвека экспоненциального развития компьютерных технологий, человек может почти по-настоящему жить в виртуальном мире. Там можно управлять аватарой (движущимся изображением, представляющим вас в этом мире); можно встречаться с другими аватарами и исследовать воображаемые миры, можно даже влюбиться и жениться. Кроме того,

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

можно покупать виртуальные вещи за виртуальные деньги, которые, вообще говоря, можно превратить в настоящие. На одном из самых популярных сайтов, Second Life, к 2009 г. зарегистрировалось 16 млн абонентов. В том же году несколько человек умудрились заработать на этом сайте более чем по 1 млн долларов. (Надо сказать, что полученный на этом сайте доход облагается в США налогами, поскольку правительство справедливо считает его вполне реальным.)

Виртуальная реальность — главный элемент и основа видеоигр. В будущем, с дальнейшим ростом компьютерных мощностей, вы сможете посещать нереальные миры при помощи интернет-очков или настенного экрана. Так, если вы захотите отправиться за покупками или посетить какое-то экзотическое место, вы сможете сначала проделать то же в виртуальной реальности, ощущая при этом эффект присутствия. Таким образом, вы сможете пройтись по Луне, отдохнуть на Марсе, прогуляться по магазинам на другом конце света, посетить любой музей и решить для себя, в какое из этих мест вы хотите попасть в реальности.

В будущем человек получит возможность в некоторой степени почувствовать киберпространство и потрогать находящиеся там предметы. Так называемая «тактильная технология» позволяет человеку ощутить присутствие сгенерированных компьютером объектов. Когда-то ее придумали ученые, которым приходилось работать с материалами высокой радиоактивности при помощи манипуляторов, и военные, которым нужно было, чтобы летчики во время тренировки на симуляторе ощущали сопротивление «штурвала».

Чтобы симитировать чувство прикосновения, ученые создали устройство на пружинах и рычагах, которое должно было в ответ на давление пальцев создавать обратное давление, как при реальном прикосновении. К примеру, если человек проводит пальцами по виртуальному столу, это устройство может симулировать ощущения от соприкосновения с твердой древеси-

БУДУЩЕЕ КОМПЬЮТЕРА

ной поверхностью. Таким образом, вы получаете возможность чувствовать предметы, видимые в очках виртуальной реальности, ощущая собственное присутствие в виртуальном мире.

Для создания ощущения текстуры материала используется другое устройство, поверхность которого усеяна тысячами крошечных управляемых пальцами бугорков. Одновременно с движением пальцев компьютер подстраивает высоту бугорков под характеристики соответствующей поверхности; можно вызвать таким образом ощущение прикосновения к твердой поверхности, бархатистой ткани или грубой наждачной бумаге. В будущем эта технология получит развитие, и специальные перчатки смогут дать вам гораздо более тонкие ощущения и симитировать прикосновение ко множеству разных поверхностей.

Вероятно, такая технология очень пригодится при обучении хирургов, потому что хирург во время сложной и тонкой операции должен ощущать пальцами сопротивление тканей; а в роли пациента при этом может выступать трехмерное голографическое изображение. Кроме того, это еще один шаг к созданию голодека из «Звездного пути», где человек мог бродить по виртуальному пространству и трогать виртуальные предметы. Передвигаясь по пустой комнате, вы можете видеть в очках или контактных линзах фантастические объекты; когда вы протягиваете к объекту руку, из пола поднимается тактильное устройство и симулирует для вас поверхность предмета.

Я получил возможность увидеть эти технологии своими глазами, когда при подготовке передачи канала Science посетил полигон CAVE (cave automatic virtual environment) в Университете Роуэна в Нью-Джерси. Я вошел в пустую комнату и оказался в окружении четырех стен, залитых светом проекторов. На стены проецировались трехмерные изображения, создающие иллюзию присутствия в ином мире. В одной из демонстрационных сцен меня окружили со всех сторон гигантские кровожадные динозавры. Двигая джойстиком, я мог прокатиться на спине ужасного *Tyrannosaurus rex*, а при желании даже залезть к нему

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

в пасть. Затем я побывал на Абердинском испытательном полигоне в штате Мэриленд, где Армия США соорудила самую продвинутую на сегодняшний день версию голодека. На меня надели шлем и рюкзак с датчиками, которые непрерывно сообщали компьютеру точное положение моего тела. Я походил по всенаправленной бегущей дорожке — хитроумному устройству, позволяющему идти или бежать в любом направлении, оставаясь при этом на месте. Неожиданно я оказался на поле боя, вокруг засвистели пули вражеских снайперов. Я мог бежать в любую сторону, прятаться в любом переулке или тупике, нестись по любой улице — и трехмерные изображения на экранах менялись соответственно. Я мог даже лечь ничком на пол, экраны корректно реагировали и на это. Можно представить, что в будущем в голодеке можно будет испытать эффект полного погружения — сражаться с инопланетными космическими кораблями, убегать от голодных чудовищ или развлекаться на необитаемом острове, не покидая собственной уютной гостиной.

Здравоохранение в ближайшем будущем

Процедура визита к врачу совершенно изменится. Для рутинной проверки достаточно будет поговорить с «доктором» — роботизированной программой, которая появится по запросу на вашем настенном экране и которая сможет диагностировать 95% обычных заболеваний. Может быть, ваш «доктор» и будет выглядеть как человек, но на самом деле это будет анимированное изображение, запрограммированное на рутинное обследование и стандартные несложные вопросы. Кроме того, в его распоряжении будет полная карта ваших генов. «Доктор» порекомендует вам курс лечения с учетом всех генетических факторов риска.

Чтобы диагностировать проблему, «доктор» попросит вас провести по телу несложным щупом или датчиком. В свое время зрители были поражены, увидев в оригинальном телесериале «Звездный путь» устройство под названием трикордер, которое

БУДУЩЕЕ КОМПЬЮТЕРА

могло мгновенно диагностировать любую болезнь и даже заглянуть внутрь тела. Однако для того, чтобы познакомиться с этим футуристическим устройством, не обязательно ждать XXIII в. Аппараты для магнитно-резонансной томографии, которые когда-то занимали целые комнаты и весили по несколько тонн, уже уменьшились до ящика размером в несколько десятков сантиметров, а когда-нибудь станут маленькими, как сотовый телефон. Проведя таким устройством по телу, можно будет увидеть внутренние органы. Затем компьютер обработает полученное трехмерное изображение и выдаст диагноз. Такой зонд сможет распознать огромное количество болезней, включая рак, задолго до того, как их проявления станут заметны. В нем будут присутствовать, в частности, ДНК-чипы — кремниевые пластинки с миллионами крохотных сенсоров, настроенных на узнавание фрагментов ДНК, характерных для конкретных болезней.

Не секрет, что многие люди ненавидят ходить к врачу. Однако в будущем за здоровьем человека будут незаметно и без всяких специальных процедур следить особые датчики; возможно, контрольные замеры будут проводиться по несколько раз в день, а вы не будете даже знать об этом. В ваш унитаз, зеркало в ванной, одежду будут встроены ДНК-чипы, которые сообщат, если в вашем организме появятся колонии хотя бы из нескольких сотен раковых клеток. В ванной комнате и в одежде будет помещаться больше всевозможных датчиков, чем сегодня можно найти в лаборатории современной больницы или университета. К примеру, достаточно будет подуть на зеркало, чтобы проверить наличие мутации в гене, отвечающем за производство белка p53, а этот белок отвечает за половину случаев всех самых распространенных видов рака. Это означает, что слово «опухоль» постепенно исчезнет из языка.

Сегодня, попав в серьезную автомобильную аварию на пустынной дороге, легко можно погибнуть от потери крови. В будущем ваша одежда и автомобиль при первых признаках травмы или плохого самочувствия водителя сами поднимут тревогу,

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

автоматически вызовут скорую помощь, сообщат координаты места аварии и передадут врачам всю вашу медицинскую историю — и все это, пока вы остаетесь без сознания. В будущем вообще трудно будет умереть в одиночестве. Одежда при помощи встроенных в ткань чипов почувствует любые нарушения сердечного ритма, дыхания и даже мозговой деятельности. Одеваясь, человек будет выходить в Сеть.

Сегодня уже можно поместить в пилюлю размером со стандартную таблетку аспирина компьютерный чип, снабженный телекамерой и радиопередатчиком. После того как вы ее проглотите, «умная пилюля» заснимет ваш пищевод и кишечник, а затем передаст сигнал по радио на расположенный рядом приемник. (Знаменитый слоган Intel Inside обретает новое значение!) Таким образом врачи могут получать снимки кишечника пациента без всякой колоноскопии (а этот метод весьма неудобен, поскольку предусматривает введение в толстую кишку двухметровой трубки). Подобные микроскопические устройства постепенно снизят необходимость использовать нож хирурга.

Это лишь один пример того влияния, которое окажет компьютерная революция на здоровье человека и всю систему здравоохранения. В главах 3 и 4 мы поговорим о революции в медицине гораздо подробнее и обсудим также генную терапию, клонирование и увеличение продолжительности жизни.

Жизнь в сказке

Поскольку компьютерный интеллект, как мы уже говорили, сильно подешевеет и найдет широчайшее применение, некоторые футуристы считают, что будущее человечества будет похоже на сказку. Если человек обретет божественное могущество, то мир, в котором он живет, станет поистине сказочным. Интернет, к примеру, превратится в известное сказочное зеркальце. Достаточно будет обратиться к нему: «Свет мой, зеркальце, ска-

БУДУЩЕЕ КОМПЬЮТЕРА

жи...», — и в нем появится приветливое лицо, обеспечивающее нам доступ ко всей накопленной на планете мудрости. Мы будем встраивать процессоры в игрушки, делая их разумными, как Пинноккио — марионетка, мечтавшая стать настоящим мальчиком. Подобно Покахонтас, мы будем разговаривать с ветром и деревьями, и они будут отвечать нам. Мы привыкнем, что вещи разумны и что с ними можно общаться.

Компьютеры распознают многие гены, ответственные за старение, и мы, возможно, будем вечно молодыми, как Питер Пэн. Мы научимся замедлять, а может быть, и поворачивать вспять процесс старения. Расширенная реальность внушит нам иллюзию того, что каждый из нас, подобно Золушке, может поехать на фантастический бал в королевской карете и танцевать там с прекрасным принцем. (Но в полночь очки расширенной реальности выключатся, и мы вернемся в реальный мир.) Компьютеры раскроют тайны генов, контролирующих наше тело, и мы сможем перестраивать свое тело по желанию, заменять изношенные органы и менять внешность даже на генетическом уровне, как чудовище в сказке «Аленький цветочек».

Некоторые футуристы опасаются даже, что из-за всех этих чудес люди могут вернуться к средневековому мистицизму, когда все верили в невидимых духов, обитающих всюду вокруг нас.

СЕРЕДИНА ВЕКА (2030–2070 гг.)

Конец закона Мура

Зададимся, однако, вопросом: как долго еще продлится компьютерная революция? Если закон Мура продержится еще лет пятьдесят, то компьютеры, скорее всего, намного превзойдут по возможностям человеческий мозг. Но к середине века возникнет другая динамика. Как сказал Джордж Харрисон, «все проходит». Даже действие закона Мура должно прекратиться, а с ним — и впечатляющий рост компьютерных мощностей, питавший последние полвека рост мировой экономики.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Сегодня нам кажется естественным — и даже закономерным, — что возможности продуктов компьютерной отрасли растут практически на глазах. Именно поэтому мы каждый год покупаем новые модели, зная, что они почти в два раза мощнее прошлогодних. Но если закон Мура перестанет действовать и каждое следующее поколение компьютеров будет примерно таким же, как предыдущее, то зачем покупать новые компьютеры?

И вообще, процессоры сейчас внедряются в самые разные предметы и приборы, и у многих людей просто не будет необходимости в домашнем компьютере. Последствия для экономики в целом могут быть поистине катастрофическими. Перестанут работать целые отрасли, миллионы людей могут потерять работу, в экономике возникнет неуправляемый хаос.

В прошлом физики не раз указывали на неизбежный конец закона Мура, но промышленники традиционно отмахивались от наших предупреждений и говорили, что ученые, как мальчик из басни, все время кричат «Волк! Волк!». Крах закона Мура так часто предсказывали, говорили они, что мы уже ничему не верим.

Но теперь все иначе.

Два года назад я выступал перед сотрудниками Microsoft в штаб-квартире компании в Сиэтле, штат Вашингтон. Три тысячи лучших инженеров компании, собравшиеся в зале, ждали от меня откровений о будущем компьютеров и телекоммуникаций. В этой огромной аудитории я видел лица молодых инженеров-энтузиастов; именно эти люди создают программы, работающие потом в наших настольных и портативных компьютерах. В отношении закона Мура я сказал прямо: отрасли следует готовиться к этому краху. Лет десять назад мои слова, наверное, были бы встречены смехом и шутками. Но на этот раз я видел перед собой лишь серьезные лица и согласные кивки.

Крах закона Мура — вопрос глобального значения; на кон здесь ставятся триллионы долларов. Но как в точности

БУДУЩЕЕ КОМПЬЮТЕРА

закончится действие этого закона и что именно его заменит, определяют законы природы. Получается, что очень скоро ответы на чисто физические вопросы потрясут основы экономической структуры капитализма.

Чтобы разобраться в этой ситуации, важно осознать, что всеми невероятными свершениями компьютерной революции мы обязаны нескольким физическим принципам. Во-первых, компьютеры считают с такой поразительной быстротой потому, что электрические сигналы движутся по проводам со скоростью, близкой к скорости света — абсолютному пределу для любой скорости во Вселенной. За секунду луч света способен семь раз обогнуть Землю или долететь до Луны. Кроме того, электроны несложно двигать, поскольку они не слишком прочно держатся в атоме (мы легко сдвигаем их с места, расчесывая волосы, проходя по ковру или стирая, — именно так накапливается статическое электричество). Сочетание не слишком прочных связей и молниеносной скорости позволяет нам стремительно посылать по проводам электрические сигналы, что, собственно, и породило электрическую революцию прошлого века.

Во-вторых, количество информации, которую можно передать при помощи лазерного луча, практически ничем не ограничено. Световые волны колеблются во много раз быстрее звуковых и могут нести на себе гораздо больше информации, чем звук. (Представьте, к примеру, длинную натянутую веревку, по которой с одного конца пускают волны. Чем быстрее движется этот конец, тем больше сигналов умещается на веревке. Поэтому количество информации, которую можно передать при помощи волны, тем больше, чем быстрее она колеблется, т. е. чем больше ее частота.)

Свет — это волна, у которой на одну секунду приходится примерно 10^{14} циклов (10^{14} — это единица с четырнадцатью нулями). Для передачи одного бита информации (1 или 0) требуется много циклов. Это значит, что оптическое волокно может

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

нести на одной частоте примерно 10^{11} бит информации. И это число можно еще увеличить, поместив в одно волокно несколько сигналов на разных частотах, а затем связав оптические волокна в единый кабель. Все это означает, что, увеличивая число каналов в кабеле, а затем и число кабелей, можно передавать информацию в почти неограниченных количествах.

В-третьих — и это самое главное, — основой компьютерной революции является миниатюризация транзисторов. Транзистор — это ключ, или управляющий элемент, контролирующий поток электричества. Если сравнить электрический контур с водопроводом, то транзистор — это кран, управляющий потоком воды. Точно так же как простым поворотом ручки крана можно перекрыть сильный поток воды, небольшой электрический ток на управляющем входе транзистора может управлять гораздо более сильным током основной цепи и таким образом усиливаться.

Сердце этой революции — компьютерный чип, электронная микросхема, где на кремниевой подложке размером с ноготь могут разместиться сотни миллионов транзисторов. Внутри любого современного компьютера есть микросхемы, транзисторы на которых можно разглядеть только в микроскоп. Эти невероятно крошечные транзисторы создаются примерно так же, как рисунки на футболках.

Чтобы напечатать рисунок на тысячах футболок, сначала необходимо создать шаблон с контуром этого рисунка. Затем этот шаблон накладывают на футболку и брызгают сверху краской в виде спрея. Краска попадает на ткань только в тех местах, где на шаблоне имеются прорези. Затем шаблон убирают, и на футболке остается идеальная копия рисунка.

Точно так же при производстве микросхем сначала изготавливается шаблон, содержащий сложные контуры миллионов транзисторов. Шаблон помещается на многослойную светочувствительную кремниевую пластину. Затем на шаблон и пластину направляют ультрафиолетовый луч; излучение проникает сквозь прорези в шаблоне и действует на кремниевую пластину.

БУДУЩЕЕ КОМПЬЮТЕРА

После этого подложку опускают в кислоту, вытравливая контуры схем и создавая хитрый рисунок миллионов транзисторов. Поскольку пластина состоит из множества проводящих и полупроводящих слоев, кислота проникает на разную глубину и вытравливает в ней различные формы; таким образом можно создавать невероятно сложные электронные схемы.

Закон Мура так неустанно обеспечивал нам экспоненциальный рост мощности компьютеров, в частности, потому, что производители микросхем, отрабатывая технологию, постепенно уменьшали длину волны УФ-излучения, что позволяло им вытравливать на кремниевых пластинках все более и более крошечные транзисторы. Длину волны УФ-излучения можно довести до 10 нм (нанометр — это одна миллиардная часть метра), и самый маленький транзистор, который можно вытравить на подложке таким способом, будет около тридцати атомов в поперечнике.

Но этот процесс не может продолжаться до бесконечности. В какой-то момент мы столкнемся с тем, что вытравить таким способом транзистор размером с один атом физически невозможно. Можно даже прикинуть, когда приблизительно рухнет закон Мура: в тот момент, когда дальнейшая миниатюризация потребует делать транзисторы размером с отдельный атом.

Около 2020 г. или чуть позже закон Мура постепенно перестанет действовать; если не будет найдена новая технология, способная заменить нынешнюю и обеспечить дальнейший прогресс, Кремниевой долине грозит медленное превращение в очередной «ржавый пояс». Согласно законам природы со временем Кремниевая эра закончится и начнется Посткремниевая. Транзисторы станут такими маленькими, что на сцену выйдут квантовая теория или атомная физика — и электроны начнут уходить с проводников и просачиваться куда не положено. К примеру, представьте, что толщина тончайшего полупроводникового слоя в вашем компьютере достигнет пяти атомов. В этот момент, по законам природы в дело вступит квантовая

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

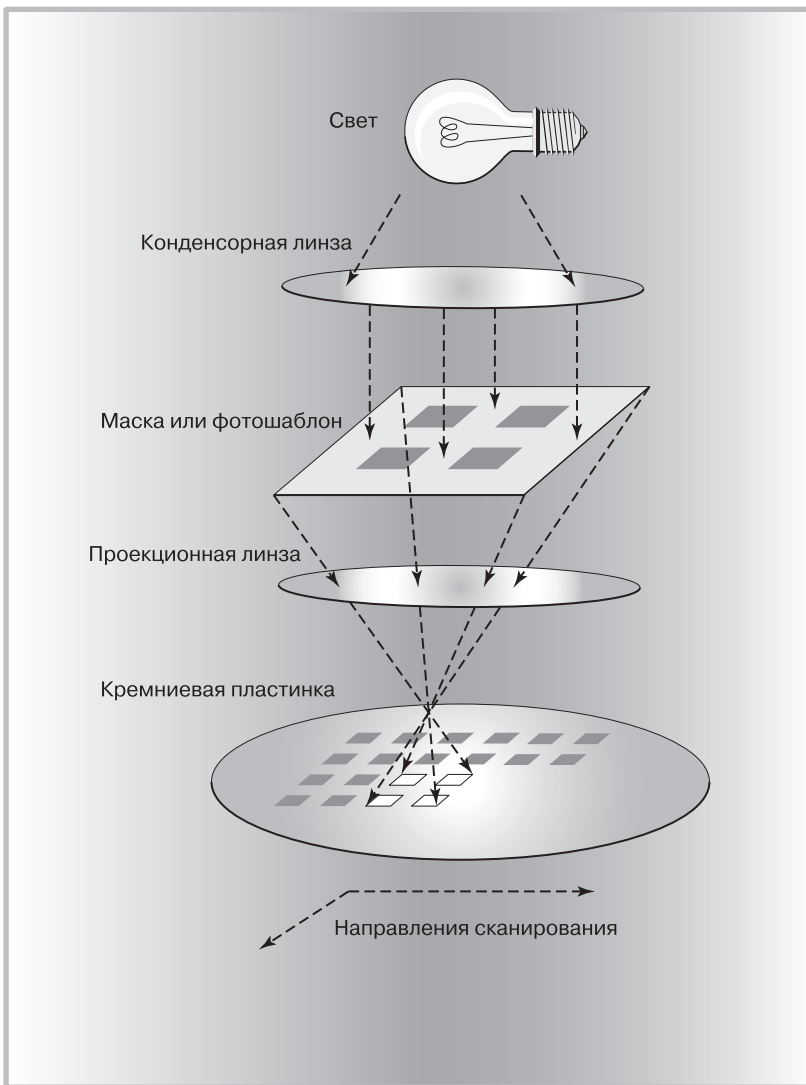
теория. Принцип неопределенности Гейзенберга утверждает, что невозможно точно знать одновременно положение и скорость частицы. На первый взгляд такой принцип кажется непонятным, но на атомном уровне просто невозможно определить, где в точности находится электрон, а потому никак нельзя гарантировать, что он не выйдет за пределы ультратонкой проволоки или слоя; он непременно просочится оттуда наружу и вызовет короткое замыкание.

Мы обсудим все это более подробно в главе 4, когда речь пойдет о нанотехнологиях. Пока же предположим, что физики нашли подходящую замену кремнию, но мощность компьютеров в новых условиях растет значительно медленнее, чем раньше. Скорее всего, экспоненциальный рост продолжится, но время удвоения мощности составит не 18 месяцев, а по крайней мере несколько лет.

Смещение реальностей

К середине века все мы, скорее всего, будем жить в странном мире, представляющем собой смешение настоящей и виртуальной реальности. Контактные линзы или очки позволят человеку видеть перед собой не только реальный мир, но и наложенные на него виртуальные изображения. По крайней мере так считает Сусуму Тачи (Susumu Tachi) из японского Университета Кейо и многие другие ученые. Тачи разрабатывает особые очки, способные смешать фантазию и реальность. Его первая цель — сделать так, чтобы вещи могли исчезать и появляться прямо на глазах.

Я побывал у профессора Тачи и увидел некоторые из его замечательных экспериментов по смешению настоящей и виртуальной реальности. Одна из несложных демонстраций — исчезновение объекта (по крайней мере в ваших очках). Сначала я надел специальный светло-коричневый плащ, который расправлялся вокруг меня парусом, стоило развести руки



Конец закона Мура. Электронные микросхемы изготавливаются тем же методом, что и рисунки на футболках, только вместо краски из пульверизатора на шаблон фокусируется ультрафиолетовый луч, выжигающий изображение на многослойной кремниевой подложке. Затем при помощи кислоты изображение вытравливается, создавая сотни миллионов транзисторов. Но существует предел миниатюризации, связанный с конечным размером атомов. Значит, когда-то Кремниевая долина станет «ржавым поясом»?

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

в стороны. Затем на плащ навели видеокамеру, а еще одну видеокамеру поставили снимать все за моей спиной, где по улице спокойно ехали автобусы и автомобили. Мгновением позже компьютер совместил два изображения и спроецировал на мой плащ, как на экран, происходящее позади меня. Стоило посмотреть сквозь специальную линзу, и мое тело исчезало, оставляя лишь изображения машин и автобусов. Поскольку моя голова не была прикрыта плащом, выглядело все так, будто голова одна парила в воздухе без тела, как у Гарри Поттера в плаще-невидимке.

Затем профессор Тачи показал мне совершенно особые очки. Надев их, я получил возможность видеть перед собой реальные объекты, но мог при желании заставить их исчезнуть. Это не настоящая невидимость, и работает она только для человека в специальных очках, которые накладывают два изображения. Однако это часть амбициозной программы профессора Тачи, которую иногда называют «дополненной реальностью».

К середине века все мы будем жить в настоящем, полностью функционирующем кибермире, в котором объекты мира реального смешаны с компьютерными изображениями. В связи с этим резко изменятся, вероятно, представление человека о рабочем месте, торговля, развлечения и образ жизни. Дополненная реальность повлияет и на рынок. Первым коммерческим приложением как раз и станет возможность делать реальные объекты невидимыми или, наоборот, делать невидимое видимым.

К примеру, если вы пилот или водитель, вы сможете видеть одновременно на 360° вокруг себя; мало того, вы будете видеть то, что находится у вас под ногами, поскольку очки или линзы позволят взгляду проникать сквозь стены самолета или автомобиля. Исчезнут «слепые» зоны, из-за которых происходит так много аварий и гибнут люди. Во время воздушного боя пилот будет видеть вражеские самолеты, где бы они ни находились, даже под собой, как если бы его самолет был полностью

БУДУЩЕЕ КОМПЬЮТЕРА

прозрачен. Водители тоже будут видеть всю обстановку вокруг, поскольку крошечные камеры подадут на их контактные линзы полное панорамное изображение.

Это пригодится и астронавтам, работающим на наружной поверхности космического корабля; они смогут видеть сквозь стены, перегородки и корпус своего корабля. В какой-то момент такая технология может оказаться спасительной. Если вы занимаетесь ремонтом подземных коммуникаций, прибор покажет вам, как в точности соединяются все эти провода, трубы, краны и переключатели. Это может оказаться жизненно важным в случае взрыва газа или прорыва трубы с паром, когда скрытые в стенах трубы необходимо быстро отремонтировать или переключить.

Если вы геолог, вы сможете видеть сквозь толщу земли подземные запасы воды или нефти. Снимки исследуемой территории в ультрафиолетовом и инфракрасном диапазонах, сделанные со спутников и самолетов, компьютер обрабатывает и подаст на ваши линзы вместе с трехмерным анализом площадки и всего, что скрыто под ее поверхностью. Проходя по безжизненному ландшафту, в линзах вы будете «видеть» залежи ценных минералов.

Вы сможете не только делать реальные объекты невидимыми, но и наоборот — «проявлять» и делать видимым невидимое.

Если вы архитектор, вы сможете, не выходя из пустой комнаты, «увидеть» перед собой трехмерное изображение проектируемого здания. Вы сможете «пройтись» по его внутренним помещениям, и ваши чертежи «оживут». Дизайнер, пройдя по пустым комнатам, сможет увидеть только еще задуманные интерьеры с мебелью, коврами и украшениями на стенах; то же сможет сделать и заказчик проекта. Такая экскурсия поможет, прежде чем воплощать проект, визуализировать его и убедиться, что он полностью соответствует его пожеланиям. Просто взмахнув руками, дизайнер сможет создавать новые комнаты, стены и мебель. В дополненной реальности каждый

станет волшебником; взмахни палочкой — и сотвори все, что твоей душе угодно.

Дополненная реальность: революция в туризме, искусстве, шопинге и войне

Вы видите, что дополненная реальность потенциально может оказать и на торговую, и на производственную сферу огромное влияние. При помощи дополненной реальности можно облегчить выполнение и улучшить результат буквально любой работы. К тому же эта технология невероятным образом обогатит нашу жизнь, развлечения и вообще человеческое общество.

К примеру, в музее можно будет переходить от экспоната к экспонату под руководством виртуального гида, который подробно расскажет вам о самых интересных объектах; этот же «гид» при помощи контактной линзы дополнит экспонаты в витринах интересными видеороликами и другими материалами. Вам покажут полную реконструкцию зданий и памятников во всем их величии, а заодно позабавят историческими анекдотами. Римскую империю, к примеру, вы «увидите» не в виде сломанных колонн и заросших сорняками развалин, а как будто возрожденную; сможете побродить по форуму, услышите комментарии специалистов, получите любую информацию.

Ученые Пекинского технологического института уже делают первые шаги в этом направлении. Они воссоздали в киберпространстве легендарный Юаньминюань — Сад совершенной ясности, уничтоженный франко-британскими войсками во время Второй опиумной войны 1860 г. До наших дней от этого знаменитого ансамбля остались одни руины. Но если вы посмотрите на развалины со специальной платформы, вы увидите перед собой сад во всем его великолепии. В будущем такие зрелища станут привычными.

Еще более продвинутую систему — пешую экскурсию по швейцарскому городу Базелю — создал изобретатель Ни-

БУДУЩЕЕ КОМПЬЮТЕРА

колас Некке (Nikolas Neecke). Вы надеваете специальные очки и гуляете по улочкам древнего города; при этом одновременно с реальным изображением вы видите трехмерные изображения древних зданий и даже людей. Турист вполне может вообразить себя путешественником во времени. Компьютер сам определяет

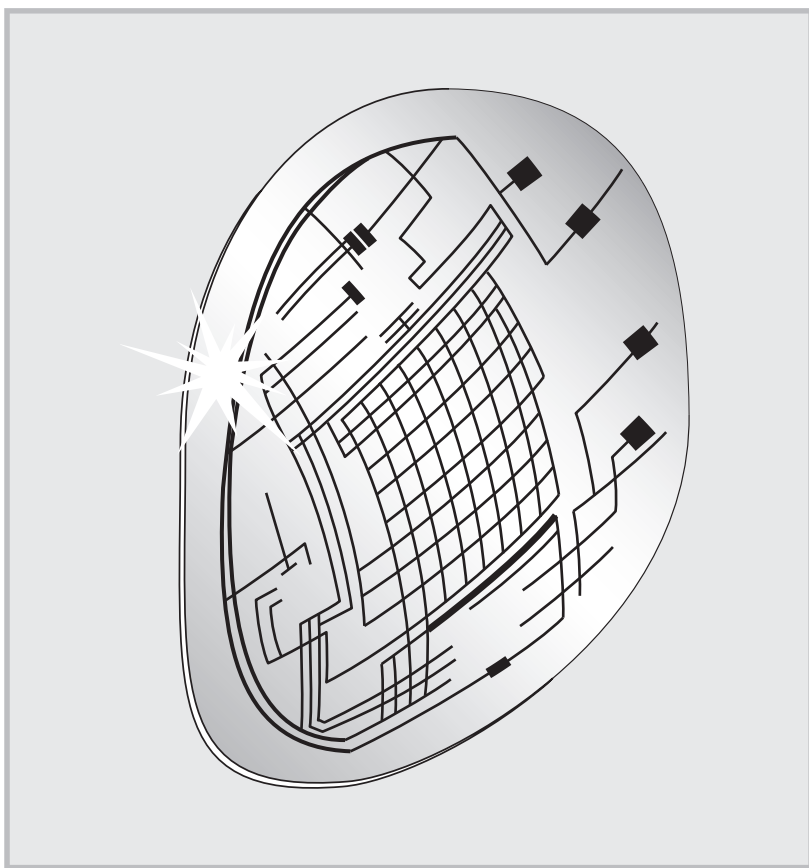


Рисунок Джеффри Уорда (Jeffrey L. Ward)

Контактные интернет-линзы будут распознавать лица людей, показывать вам биографические данные на них и переводить их слова в виде субтитров. Туристы будут пользоваться такими линзами, чтобы воочию увидеть разрушенные памятники древности. Художники и архитекторы будут дорабатывать с их помощью свои виртуальные творения. Возможности дополненной реальности неисчерпаемы

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

ваше местонахождение и показывает вам через очки картины древних времен, как будто вы перенеслись в Средневековье. Сегодня для того, чтобы эта система работала, вам придется надеть большие очки и нести на себе тяжелый рюкзак с GPS-оборудованием и компьютерами. Завтра все это свободно уместится в контактных линзах.

Если в чужой стране вам доведется водить машину, то в контактной линзе все приборы и надписи на панели управления вы будете видеть на своем, а не на местном языке, так что вам не придется опускать взгляд, чтобы что-то увидеть. Вы будете видеть и дорожные знаки, и, если захотите, описания близлежащих объектов, таких как туристические достопримечательности. Перевод дорожных знаков и объявлений также не составит труда.

Турист, путешествующий пешком, сможет в любой момент узнать не только свое положение в чужой стране, но и названия всех местных растений и животных, сможет взглянуть на карту и узнать прогноз погоды. Увидит он и тропинки, скрытые растительностью, и места стоянок.

Человек, занятый поисками подходящего жилья, проходя или проезжая в машине по улице, увидит окрест дома и квартиры, выставленные на продажу или сдающиеся внаем. Его линза покажет стоимость квартиры или дома, наличие удобств и т. п.

Взглянув на ночное небо, вы увидите не только звезды и созвездия, но и границы между ними, как в планетарии, и названия звезд — и все это на фоне настоящего неба. Вы увидите, где находятся на небе галактики, далекие черные дыры и другие интересные астрономические объекты, сможете скачать лекции на заинтересовавшую тему.

Дополненная реальность не только даст вам возможность видеть сквозь непрозрачные объекты и посещать экзотические места; она придет на помощь, если вам срочно потребуется какая-то специализированная информация.

К примеру, если вы актер, музыкант или еще кто-то, кому приходится заучивать наизусть большие объемы информа-

БУДУЩЕЕ КОМПЬЮТЕРА

ции, в будущем вы будете видеть перед собой все необходимое — текст, ноты, программу, хронометраж спектакля и т. п. Вам не потребуются ни телесуфлер, ни карточки-шпаргалки, ни бумажные ноты, ни специальные пометки с напоминаниями. Вам вообще не придется больше ничего заучивать наизусть.

Вот еще несколько примеров.

- Если вы студент и пропустили лекцию, вы сможете скачать и просмотреть лекции виртуальных профессоров по любому предмету. Технология дистанционного присутствия сделает так, что образ реального профессора появится перед вами и ответит на все ваши вопросы. Вы также сможете увидеть в своей линзе демонстрацию различных экспериментов, видео и т. п.
- Если вы солдат в поле, специальные очки или шлем обеспечат вас самой последней информацией, картами, схемами расположения частей противника и направлений вражеского огня, последними приказами и инструкциями командования и т. п. Во время перестрелки, когда вокруг свистят пули, вы сможете видеть позиции противника сквозь препятствия и детали рельефа, поскольку беспилотные самолеты-разведчики сверху рассмотрят и зарегистрируют их.
- Если вы хирург, занятый тонкой и срочной операцией, вы сможете видеть пациента насквозь (при помощи портативного МРТ-аппарата и датчиков, запущенных внутрь его тела). Кроме того, вы сможете в любой момент просмотреть справочные материалы, медицинские записи и видеозаписи предыдущих операций.
- Играя в видеоигру, вы сможете при помощи своей контактной линзы погрузиться в киберпространство. Находясь в пустой комнате, вы будете видеть идеальные трехмерные изображения всех своих друзей и путешествовать по какой-то незнакомой местности,

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

готовясь к схватке с воображаемыми инопланетянами. Вы будете ощущать себя на поле боя чужой планеты, где вокруг вас и ваших товарищей по оружию сверкают боевые лучи инопланетного оружия.

- Если вам захочется уточнить какие-то спортивные данные или статистику выступлений определенного спортсмена, информация мгновенно появится на вашей контактной линзе.

Это означает, что человеку уже не будут нужны ни сотовый телефон, ни часы, комнатные или наручные, ни MP3-плеер. Все иконки различных гаджетов, которыми вы прежде пользовались, отобразятся на вашей линзе, и компьютер обеспечит вам доступ к этим приборам в любое время. Таким образом можно будет звонить по телефону, посещать музыкальные сайты и т. п. Дополненная реальность возьмет на себя функции большей части домашней техники.

Среди ученых, раздвигающих рамки дополненной реальности, можно назвать Пэтти Маес (Pattie Maes) из медиалаборатории MIT. Вместо того чтобы использовать особые контактные линзы или очки, она планирует проецировать экран компьютера на обычные объекты окружающего мира. Ее проект под названием SixthSense («Шестое чувство») предусматривает ношение крохотной камеры и проектора на шее в виде своеобразного медальона, способного проецировать изображение компьютерного экрана на любой подходящий предмет, к примеру на стол или стену. Нажатие воображаемых клавиш позволит активировать компьютер, в точности как если бы вы печатали на настоящей клавиатуре. А поскольку экран компьютера можно спроецировать на любую ровную и твердую поверхность, одновременно в такие экраны можно будет превратить сотни самых разных предметов.

Кроме того, человек, пользующийся этой системой, надевает на пальцы особые пластиковые наперстки. Движения паль-

БУДУЩЕЕ КОМПЬЮТЕРА

цев становятся командами, результат выполнения которых появляется на импровизированном экране. К примеру, вы сможете рисовать на экране движениями пальцев; сможете пользоваться пальцами вместо мышки и управлять движением курсора. А стоит сложить пальцы обеих рук «домиком», активируется цифровая камера, и вы сможете заснять все что захотите.

Это означает также, что во время похода по магазинам ваш компьютер будет сканировать продукты, считывать информацию с упаковки и выдавать вам ее в удобном виде: это может быть полный состав продукта, калорийность (т. е. все, что написано на упаковке даже самым мелким шрифтом), а также отзывы других потребителей. А поскольку соответствующие микросхемы будут стоить дешевле, чем наклейки со штрихкодами, каждый коммерческий продукт будет снабжен собственной разумной биркой, которую сможет без труда прочесть ваш компьютер.

Еще одним приложением дополненной реальности может стать рентгеновское зрение, очень похожее на то, которым обладал Супермен в комиксах. Ученые предполагают использовать здесь процесс, известный как обратное рассеяние рентгеновских лучей. Если получится, то при помощи очков или контактных линз, чувствительных к рентгеновскому излучению, вы, подобно героям комиксов, сможете видеть сквозь стены и другие непрозрачные объекты. Каждый ребенок, впервые познакомившись с комиксами про Супермена, мечтает стать «быстрее выпущенной пули и сильнее локомотива». Тысячи детей кутаются в плащи, прыгают с подоконников, пытаются взлететь, и приписывают себе возможность видеть сквозь стены. Тем не менее рентгеновское зрение — не плод воображения, оно вполне может стать реальностью.

Конечно, использование обычных рентгеновских лучей вызвало бы множество проблем. Во-первых, чтобы получить изображение, вам надо поместить позади объекта специальную пленку, облучить его, а затем эту пленку проявить. Однако

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

обратное рассеяние позволяет решить эту проблему. Рентгеновские лучи испускаются специальным слабым источником и наполняют всю комнату; они отражаются от стен и пронизывают интересующие вас объекты с обратной стороны. Ваши очки воспринимают именно эти отраженные лучи, прошедшие сквозь объект. Изображение в них по качеству может быть ничуть не хуже, чем подобные рисунки в комиксах. (А увеличение чувствительности очков поможет снизить интенсивность рентгеновского излучения и, соответственно, минимизировать риск для здоровья.)

Универсальные переводчики

В фильмах «Звездный путь» и «Звездные войны», как, впрочем, практически во всех научно-фантастических фильмах, все инопланетяне прекрасно говорят по-английски*. В любом таком фильме существует штука под названием «универсальный переводчик», позволяющая землянам мгновенно найти общий язык с любой инопланетной цивилизацией и избавляющая от необходимости объясняться с инопланетянами при помощи жестов.

Когда-то считалось, что универсальный переводчик — совершенно нереалистичная футуристическая идея, но первые варианты подобных приборов уже созданы. Это означает, что в будущем, если вы окажетесь в чужой стране и заговорите там с местными жителями, в ваших контактных линзах появятся субтитры, как если бы вы смотрели иностранный фильм. Вы также сможете попросить компьютер озвучить перевод и подать его непосредственно вам в уши. Два человека смогут беседовать между собой, причем каждый из них будет говорить на своем языке, а слова собеседника слышать в компьютерном переводе (если у обоих будет включен универсальный переводчик). Перевод, конечно, не будет идеальным (никуда не денутся проблемы

* Или на другом земном языке, в зависимости от того, где снят фильм. — *Прим. пер.*

БУДУЩЕЕ КОМПЬЮТЕРА

с переводом идиом, сленга и образных выражений), но для понимания смысла сказанного его будет вполне достаточно.

К решению проблемы универсального перевода существует несколько подходов. Во-первых, необходимо создать устройство, которое могло бы преобразовывать устную речь в письменный текст. В середине 1990-х гг. на рынке появились первые системы распознавания речи, способные понимать до 40 000 слов с 95%-ной точностью. Если учесть, что в обычной бытовой речи используется всего лишь от 500 до 1000 слов, можно понять, что эти системы для своего времени были более чем адекватными. После того как запись с голоса готова, каждое слово следует перевести на нужный язык при помощи компьютерного словаря. Затем приходит черед самого сложного: вставить слова в контекст, при необходимости добавить сленг, разговорные выражения и т. п. Все это требует очень точного понимания языковых нюансов. Компьютерный перевод по этой технологии — целая наука, известная как САТ (computer assisted translation).

Другой способ предложили ученые Университета Карнеги–Меллон в Питтсбурге. У них уже есть прототип, способный переводить с китайского на английский, а с английского на испанский или немецкий. Электроды, закрепленные на шее и лице говорящего, улавливают сокращения речевых мышц и расшифровывают по ним произнесенные слова. Здесь не нужен микрофон и вообще никакая аудиотехника, а слова можно проговаривать даже беззвучно. Затем компьютер переводит слова, а синтезатор речи произносит их вслух. В простых разговорах, где используется 100–200 слов, ученым удалось достичь 80%-ной точности.

«Идея состоит в том, что вы можете беззвучно артикулировать слова на английском, а звучать они будут на китайском или другом языке», — говорит Таня Шульц (Tanja Schultz), участник исследований. В будущем компьютер, возможно, научится читать по губам, так что и электроды не будут нужны. И можно себе представить, в принципе, оживленную беседу двух людей, говорящих на разных языках.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

В будущем языковые барьеры, так долго и трагично не позволявшие представителям разных культур понять друг друга*, возможно, падут, и поспособствуют этому универсальный переводчик и интернет-очки (или линзы).

Итак, дополненная реальность открывает перед нами совершенно новый мир, но в этом мире существуют свои ограничения. Проблемы не связаны с техникой, а возможности расширенной реальности не ограничены пропускной способностью канала — ведь по оптико-волоконному кабелю можно передать сколько угодно информации.

Настоящий камень преткновения здесь — программное обеспечение. Создавать его можно только старым добрым способом — вручную. Все коды, строчку за строчкой, должен будет написать человек карандашом на бумаге или в крайнем случае на портативном компьютере; только так можно будет пробудить к жизни эти воображаемые миры. Технику можно производить в любых количествах, да и вычислительные мощности увеличивать тоже (добавляешь новые чипы — и готово!), а вот массовое производство мозгов невозможно. Это означает, что путь человечества к полномасштабной дополненной реальности будет нелегким и займет несколько десятилетий.

Голограммы и трехмерные образы

К середине века мы, вероятно, увидим еще одно техническое новшество — настоящее трехмерное кино и телевидение. Когда-то давно, в 1950-х гг., при просмотре трехмерного фильма вы должны были надеть неуклюжие очки с разноцветными стеклами — красным и синим. Дело в том, что человеческие глаза, правый и левый, видят чуть-чуть по-разному. На экран проецируется сразу два изображения, одно синее и одно красное. Стекла служат фильтрами, и в результате в левый и правый

* Но куда не денется разница в восприятии мира и в жизненном опыте, заставляющая людей реагировать по-разному на одну и ту же ситуацию, ставшую понятной им из разговора. — *Прим. пер.*

БУДУЩЕЕ КОМПЬЮТЕРА

глаз поступает немножко разное изображение; мозг смешивает их, и возникает иллюзия объема. Восприятие глубины изображения, таким образом, создавалось искусственно. (Чем дальше друг от друга расположены глаза, тем лучше воспринимается глубина изображения. Именно поэтому у некоторых животных глаза находятся на конце гибких стебельков: так объем воспринимается лучше всего.)

Определенный прогресс обеспечивают 3D-очки из поляризованного стекла, благодаря которым левый и правый глаз получают два разных поляризованных изображения. Таким способом можно создавать полноцветные, а не красно-синие, объемные изображения. Свет — это волна, и колебания в нем могут происходить в разных плоскостях — к примеру, в вертикальной и горизонтальной. Поляризованная линза пропускает только световые колебания определенной направленности. Так что если стекла ваших очков поляризованы в разных направлениях, вы можете создать эффект трехмерности изображения. В более сложном варианте трехмерности можно подавать разные изображения прямо на контактные линзы.

Трехмерное телевидение, которое также нужно смотреть в очках, уже появилось на рынке. Очень скоро, однако, необходимость в очках исчезнет, их сменят двояковыпуклые линзы. Телеэкран будет специально изготавливаться таким образом, чтобы выдавать для глаз два различных изображения чуть-чуть под разными углами. Каждый глаз зрителя будет видеть свое изображение, а вместе они создадут иллюзию трехмерности. У этой системы есть свои недостатки: голова должна быть правильно расположена; каждый глаз должен находиться в предназначенной именно для него точке. (Принцип действия такого телевидения основан на хорошо известной оптической иллюзии. Иногда встречаются рекламные щиты, изображения на которых волшебным образом меняются, по мере того как мы движемся вдоль них. Делается это так. Два изображения раскладываются на множество тонких полосок, которые затем кладутся впер-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

мешку, составляя композитное изображение. Затем это изображение накрывается своеобразной линзой — стеклянным листом с множеством вертикальных пазов, причем каждый паз размещается точно над двумя полосками. Паза имеют такую форму, чтобы под одним углом видна была одна полоска, а под другим — другая. Поэтому, проходя мимо такой картины, мы видим, как одно изображение внезапно превращается в другое, а затем обратно. Трехмерное телевидение заменит неподвижные изображения в этой системе движущимися, и 3D-эффект будет достигаться без применения специальных очков.)

Но самый продвинутый вариант трехмерного изображения — это голограмма. Без всяких очков человек видит точный волновой фронт трехмерного изображения, как если бы изображенный объект в реальности находился перед вами. Голограммы известны уже несколько десятилетий (их можно увидеть на выставках, открытках и кредитных карточках) и нередко мелькают в фантастических фильмах. В «Звездных войнах» завязкой сюжета служит голографический призыв о помощи, посланный принцессой Леей членам Повстанческого альянса.

Проблема в том, что голограмму очень трудно изготовить.

При создании голограммы лазерный луч расщепляется на два. Один луч направляется на объект, изображение которого вы хотите получить, затем отражается и попадает на специальный экран. Второй луч направляется непосредственно на экран. Смешение двух этих лучей создает на экране сложную интерференционную картину, содержащую «застывшее» трехмерное изображение объекта; это изображение закрепляется на специальной пленке, покрывающей экран. Затем, если сквозь экран пропустить другой лазерный луч, в пространстве появится настоящее трехмерное изображение объекта.

Голографическое телевидение — довольно своеобразная вещь. Во-первых, изображение все равно должно проецироваться на экран. Сидя перед экраном, вы будете видеть точное трехмерное изображение объекта; при этом вы, естественно,

БУДУЩЕЕ КОМПЬЮТЕРА

не сможете протянуть руку и прикоснуться к нему. Трехмерное изображение останется лишь иллюзией.

Это означает, что при просмотре футбольного матча по голографическому телевизору движение зрителя перед экраном вызывает соответствующее изменение изображения. Вы можете наблюдать за матчем едва ли не с середины поля, игроки будут бегать прямо перед вами. Но потянувшись за мячом, вы упретесь руками в экран.

Однако настоящую техническую проблему, из-за которой у нас до сих пор нет голографического телевидения, представляет хранение информации. Настоящее трехмерное изображение содержит громадное количество информации, во много раз больше, чем обычное двумерное. Компьютер непрерывно обрабатывает двумерные изображения; они разбиты на крохотные точки — пиксели, и изображением каждого пикселя управляет крохотный транзистор. Но в трехмерном кино кадры должны сменяться с частотой 30 штук в секунду*. Несложный расчет показывает, что количество информации, необходимой для генерации движущихся трехмерных изображений, намного превосходит возможности сегодняшнего Интернета.

К середине века эта проблема, возможно, будет решена, ведь ширина интернет-канала растет экспоненциально.

Но на что будет похож трехмерный телевизор?

Один из вариантов — это экран в форме цилиндра или купола, внутри которого размещается зритель. На экран проецируется голографическое изображение, и зритель оказывается в окружении объемных фигур, очень похожих на реальные.

ДАЛЕКОЕ БУДУЩЕЕ (2070–2100 гг.)

Первенство духа над материей

К концу этого столетия мы научимся управлять компьютерами при помощи мысленных команд. У нас, как у греческих богов,

* В принятом в России стандарте — 25 кадров в секунду. — *Прим. пер.*

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

будут исполняться даже невысказанные желания. Основы этой технологии уже заложены, но ее доводка и совершенствование могут занять еще не одно десятилетие. Эта революция состоит из двух частей. Во-первых, мозг должен научиться управлять объектами внешнего мира, и, во-вторых, компьютер должен научиться угадывать (и выполнять) желания хозяина.

Первое серьезное достижение в этой области относится к 1998 г., когда ученые Университета Эмори и немецкого Университета Тюбингена поместили крошечный стеклянный электрод непосредственно в мозг парализованного после инсульта 56-летнего мужчины. Электрод был соединен с компьютером, который анализировал получаемые от мозга сигналы. Мужчина видел изображение курсора на экране компьютера и, используя искусственно созданную биологическую обратную связь, научился мысленно управлять движением курсора. Так впервые был осуществлен непосредственный контакт между человеческим мозгом и компьютером.

Самую продвинутую версию этой технологии создал в Университете Брауна нейробиолог Джон Донохью (John Donoghue). Он разработал устройство под названием BrainGate, призванное помочь людям, пострадавшим от мозговых травм, общаться с окружающим миром. Работа произвела настоящую сенсацию, а ее автор в 2006 г. даже попал на обложку журнала *Nature*.

Донохью рассказал мне, что мечтает при помощи своего прибора поставить всю мощь информационной революции на службу людям, пострадавшим от мозговой травмы, и тем самым полностью пересмотреть отношение к ним. Этот прибор уже изменил к лучшему жизнь его пациентов, и Донохью с полным основанием надеется, что ему удастся еще улучшить свою технологию. У него есть и личный интерес к этим исследованиям — в детстве из-за болезни он был некоторое время прикован к инвалидному креслу и потому знает, что такое беспомощность.

Среди его пациентов — жертвы инсульта, люди, которые полностью парализованы и не могут общаться с близкими,

БУДУЩЕЕ КОМПЬЮТЕРА

но чей мозг по-прежнему активен. Донохью помещает крохотный чип размером 4 мм на поверхность мозга пациента в зоне, отвечающей за двигательную функцию. Чип подключают к компьютеру, который принимает с него сигналы, обрабатывает их и передает по беспроводной связи на лэптоп.

Поначалу пациент не может управлять положением курсора, но видит, где он находится и куда движется. Методом проб и ошибок пациент учится контролировать курсор и, как правило, уже через несколько часов может подвести его к любому месту на экране. После некоторой практики пациент получает возможность пользоваться электронной почтой (читать и писать письма), а также играть в видеоигры. В принципе, парализованный человек получает возможность выполнять любые действия, которыми может управлять компьютер.

Вначале у Донохью было четыре пациента: двое с травмой позвоночника, один после инсульта и еще один с боковым амиотрофическим склерозом. Один из них, полностью парализованный ниже шеи молодой человек сумел освоить управление курсором всего за день. Сейчас он может управлять телевизором, перемещать курсор на экране компьютера, играть в видеоигру и читать электронную почту. Кроме того, пациенты в состоянии управлять моторизованным креслом и, соответственно, передвигаться.

Если говорить о столь кратком временном промежутке, то перемены, которые произошли с этими людьми, нельзя назвать иначе как волшебными. Еще вчера они были бессловесными пленниками собственного тела, а сегодня уже гуляют по Сети и беседуют с людьми по всему миру.

(Мне довелось однажды присутствовать в нью-йоркском Линкольн-центре на праздничном приеме в честь великого космолога Стивена Хокинга. Очень тяжело видеть, как страдает этот человек. Он не может двигать ничем, кроме нескольких лицевых мускулов и век, и медсестрам приходится не только водить по залу его кресло, но и поддерживать его голову, которую

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

мышцы уже не держат. Изложение даже самых простых мыслей при помощи голосового синтезатора требует от Хокинга часов и даже дней мучительных усилий. Я сразу вспомнил о приборе Донохью и подумал, что Хокингу, наверное, еще не поздно воспользоваться преимуществами технологии BrainGate. И тут же ко мне подошел поздороваться сам Джон Донохью, тоже присутствовавший в зале. Так что, возможно, BrainGate был бы для Хокинга наилучшим вариантом.)

Другая группа ученых из Университета Дьюка добилась аналогичных результатов в опытах с обезьянами. Мигель Николеллис (Miguel A. L. Nikolelis) и его группа вживили чип в мозг обезьяны и подключили его к механической руке — манипулятору. Поначалу обезьяна беспорядочно размахивает рукой, не понимая, как ею управлять. Но затем, после некоторой практики, она постепенно осваивает управление и начинает медленно двигать манипулятор в нужном направлении — к примеру, чтобы взять банан. Обезьяна двигает механической рукой инстинктивно, не думая, как своей собственной. «Некоторые физиологические признаки указывают на то, что во время эксперимента обезьяна ощущает себя связанной больше с роботом, чем с собственным телом», — говорит Николеллис.

Это означает также, что когда-нибудь мы сможем управлять самыми разными машинами при помощи мысленных команд. Не исключено, что парализованные люди смогут таким образом управлять механическими ногами и руками. Представьте, к примеру, что ученым удастся подсоединить механические руки и ноги к головному мозгу напрямую, минуя спинной мозг; пациент снова сможет ходить. Возможно, это будут первые шаги к мысленному управлению миром.

Чтение мыслей

Если при помощи мысленных усилий можно управлять компьютером или манипулятором, то сможет ли когда-нибудь компьютер читать мысли человека без вживления в мозг электродов?

БУДУЩЕЕ КОМПЬЮТЕРА

Еще в 1875 г. ученые выяснили, что в основе работы мозга лежит прохождение электрического тока по нейронам мозга; при этом возникают слабые электрические сигналы, которые можно даже измерить, если разместить вокруг головы испытуемого несколько электродов. Проанализировав сигналы с электродов, можно записать излучаемые мозгом электромагнитные волны. Этот процесс носит название электроэнцефалографии (ЭЭГ) и позволяет регистрировать серьезные изменения мозговой деятельности: можно понять, когда человек спит, заметить изменения в его настроении — возбуждение, гнев и т. п. Результат обработки ЭЭГ и врач, и пациент могут видеть на экране компьютера. Через некоторое время пациент понимает, что может силой мысли изменять картинку на экране. Нильс Бирбаумер (Neils Birbaumer) из Университета Тюбингена уже разработал методику, при помощи которой обучает частично парализованных людей набирать на компьютере таким способом простые предложения.

Даже производители игрушек спешат воспользоваться наработками ученых в этой области. Так, уже несколько компаний, в том числе NeuroSky, выпустили на рынок головную повязку со встроенным в нее электродом по типу аппаратов ЭЭГ. Если вы наденете эту повязку на голову и определенным образом сосредоточитесь, вы сможете активировать прибор и с его помощью управлять какой-нибудь игрушкой. К примеру, можно силой мысли поднимать пластмассовый шарик для пинг-понга в прозрачном цилиндре.

Преимущество аппарата ЭЭГ в том, что он может быстро, без сложного и дорогого оборудования распознавать различные частоты, излучаемые мозгом. Но есть и серьезный недостаток: ЭЭГ не может локализовывать сигналы, т. е. определять, в какой именно зоне мозга они возникают.

Функциональная магнитно-резонансная томография (ФМРТ) — гораздо более чувствительный метод. Принципы действия ЭЭГ и ФМРТ принципиально различны. Электроэн-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

цефалограф — это пассивное устройство, которое лишь воспринимает электрические сигналы мозга, и определить по ним точное местоположение источника затруднительно. Аппарат ФМРТ активен — он использует «эхо» от излучаемых им радиоволн, чтобы заглянуть внутрь живой ткани. Это позволяет точно определить место, откуда исходят различные сигналы, и получить очень наглядное трехмерное изображение тканей мозга, в том числе его внутренних участков.

Аппарат ФМРТ — дорогое удовольствие, для его работы требуется целая лаборатория, полная дополнительного оборудования, но результат того стоит. Мы получаем подробную информацию о том, как работает думающий мозг. Томография позволяет ученым выявить присутствие кислорода в гемоглобине, а поскольку кислород в гемоглобине — это энергия, необходимая клетке для работы, увидеть воочию ток кислорода означает проследить за течением мыслей в человеческом мозге.

Психиатр из Университета Калифорнии в Лос-Анджелесе Джошуа Фридман (Joshua Freedman) говорит: «Мы сейчас как астрономы в XVI в. после изобретения телескопа^{*}. На протяжении тысяч лет очень умные люди пытались разобраться в том, что происходит в небесах, но смотрели только невооруженным глазом, а об остальном могли лишь догадываться. Затем вдруг появляется новая технология, которая позволяет им непосредственно разглядеть все, что там есть».

Функциональная магнитно-резонансная томография позволяет видеть движение мыслей в живом мозге с разрешением 0,1 мм, т. е. меньше булавочной головки; в такую точку укладывается, пожалуй, несколько тысяч нейронов. Таким образом, томограф с поразительной точностью выдает трехмерную картину потоков энергии в работающем мозге. Со временем, возможно, появятся аппараты ФМРТ, способные разглядеть отдельный нейрон, а значит, расшифровать нейронные схемы, соответствующие конкретным мыслям.

* Первые телескопы были построены в начале XVII в. — *Прим. пер.*

БУДУЩЕЕ КОМПЬЮТЕРА

Недавно Кендрик Кей (Kendrick Kay) и его коллеги из Университета Калифорнии в Беркли совершили настоящий прорыв. Они исследовали функциональную томограмму мозга людей в то время, как они смотрели на изображения различных объектов: еды, животных, людей, обычных предметов разных цветов. Кей и его коллеги создали компьютерную программу, которая пыталась соотнести объекты, на которые смотрели испытуемые, с соответствующими рисунками томограммы. Чем больше различия объектов разглядывали испытуемые, тем лучше удавалось программе идентифицировать их по томограмме.

Затем исследователи показывали испытуемым изображение совершенно нового объекта; интересно, что во многих случаях программа смогла корректно соотнести этот объект с соответствующей картиной ФМРТ. Получив 120 изображений новых объектов, компьютерная программа в 90% случаев корректно соотнесла их с томограммами. Из 1000 новых изображений программа успешно опознала 80%.

Кей говорит, что «возможно выбрать из большого набора совершенно незнакомых естественных изображений то, на которое в данный момент смотрит испытуемый... Не исключено, что скоро можно будет реконструировать картину перед глазами испытуемого по одним только данным о работе его мозга».

Цель этих исследований — создать «словарь мыслей» и поставить в соответствие каждому объекту конкретный ФМРТ-паттерн. Тогда по паттерну можно будет определить, о чем человек думает. Не исключено, что со временем компьютер научится получать от мыслящего мозга и расшифровывать тысячи ФМРТ-паттернов, получая представление о потоке сознания данного человека.

Сфотографировать мечту

Проблема этой технологии, однако, заключается в том, что, даже если вы сможете с ее помощью определить, что человек

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

думает о собаке, образ конкретной собаки, о которой он думает, вы получить не сможете. В настоящее время возникло новое направление исследований, которое в случае успеха позволит реконструировать изображение мыслеобразов. Представляете — видеофильм человеческих мыслей! Если так пойдет, в будущем можно будет сделать вполне материальную видеозапись мечты.

С незапамятных времен человека удивляли и притягивали сны — эфемерные образы, которые иногда так трудно вспомнить или понять. Голливуд давно придумал машины, способные посылать сновидения в мозг человека или даже записывать те, что возникают естественно, как в фильме «Вспомнить все». Все это, однако, чистая выдумка. Точнее, было таковой до недавнего времени.

Ученые добились замечательного прогресса в решении задачи, которая прежде считалась нерешаемой: сфотографи-

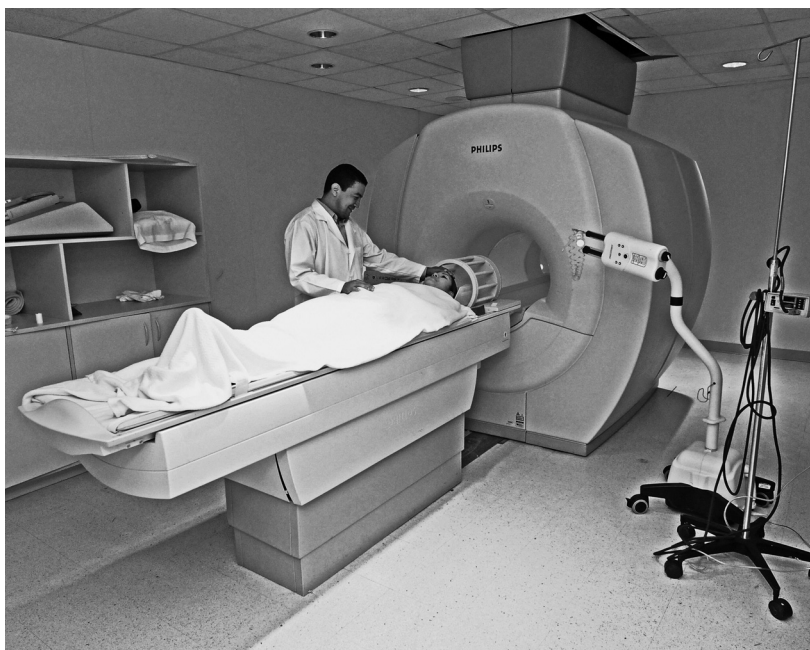


Даниел Мухайлеску (Daniel Mihaltescu), AFP

БУДУЩЕЕ КОМПЬЮТЕРА

ровать воспоминание и, может быть, сон. Первые шаги в этом направлении сделали ученые Лаборатории вычислительной неврологии в Киото. В ходе эксперимента они показывали испытуемым точечный источник света в определенном месте, а затем по функциональной томограмме определяли, где в мозгу откладывается эта информация. Затем источник сдвигали и определяли, куда легла информация об этом новом изображении. Постепенно возникала карта с указанием точного места хранения информации о нескольких десятках световых точек. Для начала ученые взяли матрицу 10×10 точек.

После этого испытуемому показали изображение простого объекта, составленного из этих точек, к примеру подковы. Ком-



Мигель Альварес (Miguel Alvarez), AFP

Чтение мыслей при помощи ЭЭГ (с. 88) и ФМРТ (с. 89). В будущем электроды и вообще аппаратуру наверняка можно будет миниатюризировать. Мы сможем не только читать мысли, но и отдавать мысленные команды компьютерам

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

пьютер проанализировал, как легла в мозгу эта информация. Выяснилось, что возникший в мозгу паттерн полностью соответствует сумме точек, составляющих подкову.

Таким образом, ученые получили возможность определять, что «видит» мозг. По томограмме компьютер может восстановить любой световой паттерн в пределах матрицы 10×10 .

В будущем ученые рассчитывают увеличить количество пикселей в матрице. Более того, они утверждают, что этот процесс универсален, т. е. что визуальную мысль или даже сновидение можно, по идее, однозначно восстановить при помощи аппарата ФМРТ. Если это действительно так, то когда-нибудь ученые смогут — впервые в истории — записать образы, которые мы видим во сне.

Конечно, мысленные визуальные образы, и тем более сновидения, никогда не бывают кристально четкими, и определенная нерезкость изображения всегда останется, но замечателен сам факт: мы сможем увидеть образы, которыми мыслим, и даже заглянуть глубоко в подсознание.

Этично ли чтение мыслей?

Здесь возникает серьезная проблема. Что произойдет, если мы научимся без труда читать чужие мысли? Нобелевский лауреат Дэвид Балтимор (David Baltimore), бывший президент Калифорнского технологического института, очень обеспокоен этим вопросом. Он пишет: «Можем ли мы вторгаться в чужие мысли?.. Я не думаю, что это чистая фантастика, но чтение мыслей превратит этот мир в чертовски неудобное место. Представьте, как будут выглядеть ухаживания, если мысли перестанут быть тайной, или во что превратятся деловые переговоры».

В большинстве случаев, рассуждает Балтимор, чтение мыслей заставит кое-кого смутиться, но не приведет к катастрофическим последствиям. Он пишет: «Говорят, что если остановить лекцию какого-нибудь профессора на полуслове... то окажется,

БУДУЩЕЕ КОМПЬЮТЕРА

что значительная доля [студентов] погружена в эротические фантазии».

Но может быть, чтение мыслей и не вызовет таких серьезных проблем, ведь наши мысли зачастую очень слабо оформлены. Не исключено, что когда-нибудь мы научимся фотографировать мечты и сновидения, но качество картинок, скорее всего, нас разочарует. Много лет назад я читал фантастический рассказ, где некий дух сказал человеку, что тот может получить все, что сумеет вообразить. Человек начал воображать всевозможные предметы роскоши — лимузины, миллионы долларов наличными, старинный замок. Дух, верный своему слову, материализовал все это. Но, внимательно присмотревшись, человек был потрясен: у лимузина не оказалось ни дверных ручек, ни двигателя, лица на долларовых купюрах расплылись, а замок был абсолютно пуст. В спешке он забыл о том, что образы вещей существуют в нашем воображении лишь в самых общих чертах.

Более того, мысли вряд ли удастся читать на расстоянии. Все методы, опробованные на данный момент (в том числе ЭЭГ, ФМРТ и наложение электродов непосредственно на мозг), требуют тесного контакта с объектом.

И все же когда-нибудь, вполне возможно, будут приняты законы, строго ограничивающие неавторизованное чтение мыслей. А может быть, появятся приборы, способные наши мысли защитить — заглушить, заблокировать или зашифровать исходящие из мозга электрические сигналы.

До настоящего чтения мыслей еще очень далеко. Но в самом крайнем случае даже обычный ФМРТ-аппарат может выступить в роли примитивного детектора лжи. Ложь «зажигает» в мозгу больше центров активности, чем правда. Ложь предполагает, что вы знаете правду, но думаете о лжи и пытаетесь удержать в голове все ее бесконечные следствия; энергии на это тратится значительно больше, чем на то, чтобы сказать правду. Аппарат ФМРТ, по идее, должен без труда засечь дополнительный расход энергии. В настоящее время ученое сообщество не спешит выпу-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

скать в мир детекторы лжи на базе ФМРТ и особенно опасается использования их в суде. Технология еще слишком нова, чтобы гарантировать достоверность результатов. Сторонники метода говорят, что необходимы дальнейшие исследования и повышение точности метода. Однако тот факт, что эта технология пришла и останется с нами, не вызывает сомнений.

Две коммерческие компании уже предлагают детекторы лжи, основанные на технологии ФМРТ, и обещают надежность свыше 90%. Данные, полученные при помощи такого детектора, уже фигурировали на одном судебном процессе в Индии, а в настоящее время в судах США слушается еще несколько таких дел.

Обычные полиграфы не измеряют ложь; они всего лишь фиксируют признаки нервного напряжения, такие как усиленное потоотделение (измеряемое по проводимости кожи) и ускоренное сердцебиение. Томограмма мозга зафиксировывает усиление мозговой активности, но связь между этой активностью и ложью еще придется доказывать в суде.

На определение точности и пределов применимости ФМРТ-детекторов могут потребоваться годы тщательных экспериментов. А пока Фонд Макартура выделил грант в 10 млн долларов на проект «Право и неврология», который должен определить, как развитие неврологических наук повлияет на законоприменительную практику.

Моя томограмма

Мне однажды довелось подвергнуться процедуре ФМРТ-сканирования. При подготовке документального фильма для канала BBC/Discovery Channel я специально для этого летал в Университет Дьюка. Там меня уложили на специальную кушетку, которую затем задвинули в гигантский металлический цилиндр. Включился огромный мощный магнит (в 20 000 раз более мощный, чем магнитное поле Земли), и атомы моего мозга выстроились по силовым линиям магнитного поля, подобно

БУДУЩЕЕ КОМПЬЮТЕРА

вращающимся волчкам, все оси которых указывают в одном направлении. Затем в мозг был направлен радиоимпульс, который перевернул ядра некоторых атомов вниз. Переворачиваясь обратно, в нормальное положение, эти ядра испустили крохотный импульс, или «эхо», принятый аппаратом ФМРТ. Компьютер обработал информацию о принятых эхо-импульсах и собрал из них трехмерную карту моего мозга.

Весь процесс проходит совершенно безболезненно и не причиняет никакого вреда. В МРТ-аппаратах используется неионизирующее излучение; оно не разрушает атомов и, соответственно, не наносит вреда клеткам. Даже находясь в магнитном поле, в тысячи раз превосходящем по мощности магнитное поле Земли, я не чувствовал в своем теле ни малейших изменений.

Целью этой процедуры было определить в точности, где в моем мозгу возникают те или иные мысли. В частности, в мозгу есть крохотные биологические «часы» — между глазами, позади переносицы, где мозг отсчитывает секунды и минуты. Повреждение этой части мозга вызывает нарушение чувства времени.

Когда я находился внутри аппарата, меня попросили посчитать время. Позже, когда МРТ-снимки были проявлены, я ясно увидел яркую точку позади переносицы — там шел подсчет секунд. Я понял, что стал свидетелем зарождения совершенно новой области биологии; эта наука может определить, какие в точности области мозга связаны с определенными мыслями, а это уже реальный шаг на пути к настоящему чтению мыслей.

Трикордеры и портативные сканеры мозга

В будущем МРТ-аппараты, вероятно, перестанут быть чудовищными устройствами, которые мы сегодня видим в больницах, — они уже не будут весить по несколько тонн и занимать целые комнаты. Не исключено, что когда-нибудь будет соз-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

дан МРТ-аппарат размером с сотовый телефон, а может быть, и с мелкую монетку.

В 1993 г. Бернхард Блюмих (Bernhard Blümich) и его коллеги из Института полимерных исследований Общества Макса Планка в немецком Майнце выдвинули новую идею, которая может оказаться очень полезной в создании портативных МРТ-аппаратов. Они изобрели принципиально новый аппарат, получивший название MOUSE* (mobile universal surface explorer). В настоящее время это ящик высотой около 30 см, но когда-нибудь МРТ-аппараты размером с кофейную чашку, основанные на этом принципе, возможно, будут продаваться в обычных универмагах. Это может произвести в медицине настоящую революцию — ведь каждый сможет спокойно сделать себе МРТ-скан дома. Блюмих считает, что недалеко то время, когда у каждого человека будет личный MOUSE и, проведя им по коже, он в любой момент сможет заглянуть внутрь своего организма. Компьютеры проанализируют полученную картину и поставят диагноз. «Возможно, что-то похожее на трикордеры из “Звездного пути” появится уже совсем скоро», — заключает он.

(Принцип магнитно-резонансной томографии схож с принципом действия компаса. Как известно, стрелка компаса устанавливается вдоль линий магнитного поля. Когда тело помещают в аппарат МРТ, ядра атомов, подобно стрелкам крохотных компасов, тоже выстраиваются вдоль линий магнитного поля. В тело направляют радиоимпульс, который заставляет атомы переворачиваться. Затем перевернувшиеся атомы начинают возвращаться в первоначальное положение, испуская вторичный радиоимпульс — так называемое «эхо».)

Ключевая особенность МРТ-аппарата Блюмиха — неоднородное магнитное поле. Размеры обычного МРТ-аппарата определяются в основном тем фактом, что тело человека в нем необходимо поместить в абсолютно однородное магнитное поле. Чем однороднее поле, тем более детальным получается

* Название обыгрывает английское слово mouse — мышь. — Прим. пер.

БУДУЩЕЕ КОМПЬЮТЕРА

изображение; на сегодняшний день разрешение такого аппарата доходит до десятых долей миллиметра. Чтобы получить однородное магнитное поле, физики взяли две большие электрические катушки диаметром около 60 см и поставили друг над другом. Такая конструкция, известная как катушка Гельмгольца, создает между двумя обмотками однородное магнитное поле. Тело человека помещают в поле вдоль оси этих двух мощных электромагнитов.

Если магнитное поле в МРТ-аппарате будет неоднородным, изображение получится искаженным и нерезким. Создатели МРТ-аппаратов сражаются с проблемой однородности поля уже несколько десятков лет.

Блюмих предложил остроумный способ компенсировать искажения — посылать в исследуемый объект множественные радиоимпульсы и затем обрабатывать полученное эхо при помощи компьютеров, которые очищают изображение и компенсируют искажения, возникшие из-за неоднородности магнитного поля.

Сегодня в портативном МРТ-аппарате Блюмиха MOUSE используется небольшой подковообразный магнит, в котором полюса располагаются на концах подковы. Этот магнит кладется на тело пациента; передвигая его, врач может заглянуть внутрь организма на несколько дюймов. В отличие от обычных МРТ-аппаратов, которые потребляют большое количество энергии и нуждаются в специальном электропитании, портативный аппарат MOUSE требует не больше мощности, чем обычная электрическая лампочка.

В первых экспериментах Блюмих испытывал свой аппарат на автомобильных шинах, плотных и в то же время податливых, как ткани человеческого тела. Кстати говоря, это подсказало ему возможность коммерческого применения прибора для быстрого выявления дефектов структуры в различных промышленных изделиях. Традиционные МРТ-аппараты невозможно использовать для исследования объектов, содержащих металл, таких

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

как армированные шины. Портативный МРТ-аппарат не имеет таких ограничений, потому что использует только слабые магнитные поля. (Магнитное поле традиционного МРТ-аппарата в 20 000 раз мощнее магнитного поля Земли. Известны случаи, когда медсестры или техники, обслуживающие аппарат, получали серьезные травмы от металлических предметов, которые при включении аппарата внезапно взлетают в воздух. У MOUSE таких проблем нет.)

Аппарат такого типа не только идеален для исследования объектов, содержащих ферромагнетики, но и позволяет анализировать крупные объекты, которые просто не войдут в традиционный МРТ-аппарат или которые невозможно сдвинуть с места. К примеру, в 2006 г. при помощи аппарата MOUSE было успешно проведено исследование древнего человека Этци, замороженный труп которого был случайно обнаружен в Альпах в 1991 г. Проводя подковообразным магнитом над телом Этци, ученые смогли внимательно рассмотреть разные слои его замороженного тела.

В будущем MOUSE, вероятно, станет еще миниатюрнее, а МРТ-сканирование мозга можно будет проводить аппаратом размером с сотовый телефон. Не исключено, что чтение мыслей при этом тоже перестанет быть проблемой. А может быть, удобнее будет сделать прибор, похожий на современный ЭЭГ-аппарат, где пациенту надевают на голову пластиковую шапочку с множеством электродов, закрепленных в нужных местах.

Телекинез и божественное могущество

Конечным пунктом описываемого процесса должно стать овладение телекинезом — «божественной» способностью передвигать объекты силой мысли.

В фильме «Звездные войны», к примеру, присутствует Сила — загадочное поле, пронизывающее галактику и помогающее активизировать ментальные возможности рыцарей-

БУДУЩЕЕ КОМПЬЮТЕРА

джедаев; Сила позволяет им мысленно управлять самыми разными объектами. При помощи Силы можно поднимать в воздух световые мечи, лучевые ружья, даже целые космические корабли; мало того, можно управлять действиями других людей.

Но нам не придется лететь в далекую-далекую галактику, чтобы овладеть аналогичными возможностями. К 2100 г. каждый человек сможет, войдя в комнату, отдать мысленную команду компьютеру; при помощи таких команд можно будет делать многое: передвигать тяжелую мебель, приводить в порядок рабочий стол, что-то ремонтировать и т. п. Подобные возможности определенно пригодятся рабочим, пожарным, астронавтам и солдатам — всем тем, кому приходится управляться со сложной техникой и проделывать операции, требующие больше двух рук. Способности к мысленному управлению могут также серьезно изменить способ нашего общения с миром. Ездить на мотоцикле, водить машину, играть в гольф, бейсбол или другие сложные игры можно будет исключительно силой мысли.

Двигать объекты силой мысли можно будет при помощи так называемых сверхпроводников, о которых мы поговорим подробнее в главе 4. К концу этого столетия физикам, возможно, удастся создать сверхпроводники, сохраняющие свои свойства при комнатной температуре; если получится, в распоряжении ученых окажутся мощнейшие магнитные поля, для управления которыми нужно совсем немного энергии. Если XX в. был веком электричества, в будущем нас, вероятно, ожидает век магнетизма.

В настоящее время создавать и поддерживать мощные магнитные поля очень дорого, но в будущем они, возможно, станут почти бесплатными. Это позволит нам резко уменьшить трение во всех механизмах, преобразовать транспорт и исключить потери электричества при передаче на большие расстояния. Кроме того, овладение магнитными силами позволит нам двигать предметы силой мысли. Предметы, содержащие крохотные сверхмагниты, можно будет двигать практически как угодно.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

В ближайшем будущем мы привыкнем к тому, что в каждой вещи присутствует крохотный чип, который делает эту вещь «умной». В более отдаленном будущем нам, вероятно, придется привыкнуть к тому, что в каждой вещи есть крохотный сверхпроводник, генерирующий при необходимости достаточно магнитной энергии, чтобы вещь эта могла самостоятельно передвигаться в пределах комнаты. Представим, к примеру, стол со сверхпроводником внутри. В обычных условиях в этом сверхпроводнике нет электрических токов. Но если добавить слабый электрический ток, сверхпроводник создаст мощное магнитное поле, способное сдвинуть стол с места. Человеку достаточно будет отдать мысленную команду и активировать сверхмагнит.

В фильмах «Люди Икс», к примеру, мутантами-злодеями руководит Магнето, способный управлять движением громадных объектов при помощи воздействия на их магнитные свойства. В одной из сцен фильма он силой мысли передвигает с места на место мост Золотые Ворота. Но и его возможности ограничены. К примеру, ему трудно двигать пластик или бумагу, не обладающие магнитными свойствами. (В финале первого фильма Магнето сажают в камеру, сделанную полностью из пластика.)

В будущем даже немагнитные предметы, возможно, будут содержать в себе сверхпроводники, сохраняющие свойства при комнатной температуре. Тогда достаточно будет включить внутри объекта слабый ток, чтобы он приобрел магнитные свойства и стал подвержен действию внешнего магнитного поля, которое человек будет мысленно контролировать.

Кроме того, мы получим возможность манипулировать роботами и аватарами посредством мыслей. Это значит, что человек, как в фильмах «Суррогаты» и «Аватар», сможет не только мысленно управлять движением искусственного тела, но даже чувствовать боль и прикосновения. Владение вторым телом, обладающим сверхчеловеческими возможностями, может ока-

БУДУЩЕЕ КОМПЬЮТЕРА

заться полезным для ремонтных работ в открытом космосе или спасения людей в чрезвычайных ситуациях. Когда-нибудь, возможно, наши астронавты смогут, находясь на Земле, управлять сверхчеловеческими роботизированными телами, работающими на Луне. Об этом речь пойдет в следующей главе.

Однако следует отметить, что обладание телекинетическими возможностями несет в себе определенный риск. Как я уже упоминал, в фильме «Запретная планета» древней цивилизации, обогнавшей нашу на миллионы лет, удастся исполнить вековую мечту и обрести способность управлять всем вокруг при помощи мысленного усилия. В качестве простого примера такой технологии в фильме фигурирует машина, которая превращает мысли в трехмерные изображения. Вы надеваете на голову специальное устройство, воображаете что угодно, и внутри машины возникает трехмерное изображение. Конечно, зрителям 1950-х гг. подобное устройство представлялось невероятно продвинутым, почти волшебным, но на самом деле что-то подобное вполне может появиться на Земле через несколько десятков лет. Кроме того, в фильме фигурировало устройство, которое помогало поднимать тяжелые объекты при помощи энергии мысли. Но нам, как вы уже знаете, не придется миллионы лет ждать создания подобной технологии — игрушки, в которых реализовано что-то похожее, уже существуют. Вы надеваете на голову электроды (примерно такие же, какие нужны для снятия электроэнцефалограммы), игрушка улавливает электрические импульсы вашего мозга и по мысленной команде поднимает объект, хотя и крошечный, — в точности как в кино. В будущем во многие игры можно будет играть мысленно. Игроки, возможно, будут надевать специальные приборы и двигать мяч мысленным усилием; команда, игроки которой смогут лучше сосредоточиться и точнее двигать мяч, выиграет.

Однако кульминация фильма «Запретная планета» заставляет задуматься. Несмотря на продвинутые технологии, инопланетяне погибли, потому что не заметили изъяна в своих

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

планах. Их мощные устройства научились читать не только осознанные мысли, но и подсознательные желания. На свет выползли древние, дикие, давно подавленные мысли и желания жестокого эволюционного прошлого, а машины воплотили в реальность все эти подсознательные кошмары. Могучая цивилизация погибла от «рук» той самой техники, которая, по идее, должна была полностью освободить их от ручного труда.

Правда, для нас эта опасность пока еще очень далека. Устройства подобного размаха наверняка не появятся раньше XXII в. Однако существуют и более актуальные поводы для тревоги. К 2100 г. человек будет жить в мире, населенном человекоподобными роботами. Что произойдет, если роботы станут умнее своих создателей?

2. БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

МАШИНЫ НА ПОДЪЕМЕ

Наследуют ли роботы землю? Да, но эти роботы будут нашими детьми.

Марвин Мински

Мифические боги, обладавшие сверхъестественным могуществом, умели оживлять неживое. Во второй главе книги Бытия сказано, что Бог сотворил человека из праха земного, а затем «вдунул в лице его дыхание жизни, и стал человек душою живою». Согласно греческой и римской мифологии, богиня Венера могла оживлять статуи. Сжалившись над скульптором Пигмалионом, безнадежно влюбившимся в собственное творение, Венера исполнила его заветное желание и превратила статую в красивую женщину, Галатею. Бог Вулкан, божественный кузнец, мог создать и оживить целую армию механических слуг, сделанных из металла.

Человек сегодня подобен Вулкану. В своих лабораториях он создает машины и вдыхает жизнь не в прах земной, но в сталь и кремний. Но каков будет результат? К чему это приведет — к освобождению рода человеческого или к его порабощению? Если почитать заголовки сегодняшних новостей, может показаться, что ответ на этот вопрос уже известен: в самом ближайшем будущем создание рук человеческих обгонит своего творца во всех отношениях.

Конец рода человеческого?

Один заголовок из *The New York Times*, в сущности, выражает все: «Ученые опасаются, что машины могут стать умнее человека». Мировые лидеры в области искусственного интеллек-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

та (ИИ) собрались в 2009 г. в Калифорнии на Азиломарской конференции для серьезного обсуждения перспектив. Речь шла о том, что произойдет, когда машины наконец превзойдут человека. Как будто в сцене из голливудского кино, делегаты задавали друг другу разные интересные вопросы, например такие: «Что, если робот станет таким же умным, как ваша супруга?»

В качестве убедительного свидетельства наступающей робототехнической революции обычно вспоминают беспилотный роботизированный самолет Predator, который в настоящее время с беспощадной точностью бомбардирует террористов в Афганистане и Пакистане; автомобили, умеющие ездить сами по себе; и ASIMO, самого совершенного в мире робота, способного ходить, бегать, подниматься по лестнице, танцевать и даже подавать кофе.

Организатор конференции Эрик Горвиц (Eric Horvitz) из Microsoft сказал, отмечая царящее на конференции возбуждение: «Технари разворачивают перед нами почти религиозные картины, и в чем-то их идеи созвучны идее Вознесения». (Вознесение — это когда при Втором пришествии истинно верующие праведники вознесутся на небеса. Критики окрестили настроение, царившее на Азиломарской конференции, «вознесением яйцеголовых».)

Вышедшие тем же летом на экраны фильмы, похоже, только усилили эту апокалиптическую картину. В фильме «Терминатор: Да придет спаситель» разношерстная группа людей сражается с гигантскими механическими монстрами, захватившими Землю. В фильме «Трансформеры: Месть падших» футуристические роботы из космоса делают людей пешками, а Землю — полем битвы в одной из своих межзвездных войн. В «Суррогатах» люди предпочитают жить в роли совершенных, молодых и прекрасных сверхчеловеков-роботов, вместо того чтобы смотреть в лицо реальности и жить самостоятельно, в своих стареющих телах.

Судя по новостным заголовкам и афишам кинотеатров, конец человечества не за горами. ИИ-эксперты всерьез задумы-

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

ваются: не придется ли нам когда-нибудь плясать за решеткой зоопарка и ловить орешки, брошенные нашими созданиями-роботами? Или, может быть, мы станем домашними любимцами собственных созданий?

Однако при ближайшем рассмотрении оказывается, что на самом деле все далеко не так серьезно. Конечно, последнее десятилетие стало временем настоящих прорывов, но все следует рассматривать в перспективе.

Predator, беспилотный самолет длиной 27 футов, умеет обстреливать террористов с небес смертельными ракетами, но управляет им человек с джойстиком. Человек — скорее всего, это юный ветеран компьютерных игр — сидит в удобном кресле перед монитором и выбирает цели. Стреляет человек, а не беспилотник. Автомобили, способные ездить без водителя, не принимают независимых решений, когда осматривают окрестности и поворачивают рулевое колесо, они следуют линиям GPS-карты, заранее загруженной в память. Так что пока опасаться нечего: кошмар полностью автономных, обладающих сознанием и убийственно опасных роботов, — дело весьма отдаленного будущего.

Неудивительно поэтому, что большинство ученых, занимающихся реальными исследованиями в области искусственного интеллекта, высказывались гораздо более сдержанно и осторожно, хотя средства массовой информации, конечно, подхватили и разнесли самые сенсационные предсказания. На вопрос о том, когда все-таки машины станут такими же умными, как мы, ответы ученых были удивительно разнообразны и варьировались от 20 до 1000 лет.

Вообще, следует различать два типа роботов. Первый дистанционно управляется человеком или действует по заранее написанной программе, выполняя жесткие инструкции. Такие роботы уже существуют; им и посвящены, как правило, заголовки новостей. Они медленно проникают в наши дома, а также на поля сражений. Но без человека, который принимал

бы за них решения, они представляют собой всего лишь механизмы, более или менее сложные. Этим роботам не надо путать с роботами второго типа — по-настоящему автономными, способными думать самостоятельно и действовать без помощи со стороны людей. Попытки создания таких автономных роботов за последние полвека не увенчались успехом.

Робот ASIMO

Исследователи ИИ часто называют робота по имени ASIMO (Advanced Step in Innovative Mobility) японской фирмы Honda в качестве примера революционных достижений робототехники. Этот робот высотой 130 см весит 53 кг и напоминает мальчика в шлеме с затемненным стеклом и с рюкзаком за плечами. Возможности ASIMO действительно впечатляют: он может реалистично ходить, бегать, подниматься по лестнице и разговаривать. Он может бродить по комнатам, собирать чашки и подносы, отзываться на простые команды и даже узнавать некоторые лица. Он владеет обширным словарем и говорит на нескольких языках. ASIMO — результат двадцати лет интенсивных исследований десятков ученых фирмы Honda и, безусловно, чудо инженерной мысли.

Мне дважды выпала честь лично пообщаться с ASIMO на конференциях как ведущему научной передачи канала BBC/Discovery. Когда я пожимал ему руку, робот отзывался на пожатие совершенно по-человечески. Когда я помахал ему на прощание, он тоже помахал мне в ответ. А когда я попросил его принести мне соку, ASIMO повернулся и направился к стойке с напитками, причем движения его были настолько человеческими, что возникало жутковатое ощущение. В самом деле, ASIMO настолько похож на человека внешне, что во время разговора с ним я подсознательно ожидал, что вот сейчас робот снимет шлем и внутри окажется настоящий живой мальчишка. Должен признаться, танцует он лучше меня.

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

На первый взгляд кажется, что ASIMO умен, способен реагировать на команды человека, может поддерживать разговор и ходить по комнате. На самом деле все немного не так. Когда я общался с ASIMO перед телекамерой, каждое движение, каждую мелочь приходилось тщательно планировать. Чтобы записать простой пятиминутный сюжет с роботом, нам потребовалось около трех часов. И после каждой сцены целая команда программистов принималась бешено стучать на своих ноутбуках, меняя что-то в его программе. Да, ASIMO может разговаривать с вами на нескольких языках, но на самом деле все это заранее записанные кусочки звукозаписи. Робот просто следует программе и повторяет, как попугай, то, что подготовлено человеком. Хотя с каждым годом поведение ASIMO становится все более сложным, робот пока совершенно не способен самостоятельно мыслить. Каждое его слово, каждый жест, каждый шаг должны быть тщательно отрепетированы и запрограммированы.

После съемок у меня состоялся достаточно откровенный разговор с одним из изобретателей ASIMO, и он признал, что робот, несмотря на поразительно человекоподобные движения и действия, обладает разумом в лучшем случае насекомого. Большую часть его движений необходимо тщательно программировать заранее. Он умеет ходить почти по-человечески, но его маршрут необходимо тщательно планировать, иначе робот будет наткаться на мебель и другие предметы — ведь он не может по-настоящему распознавать объекты.

Так что даже обычный таракан во многом превосходит нашего робота. Он умеет распознавать объекты, огибать препятствия, искать пищу и партнеров, избегать хищников, планировать сложные пути отхода, прятаться в тенях и исчезать в трещинах — и все в течение нескольких секунд.

Исследователь ИИ Томас Дин (Thomas Dean) из Университета Брауна признал, что неуклюжие роботы, которых он строит, находятся сейчас «ровно на той стадии, что могут пройти по залу и не снести по пути половину штукатурки со стен».

Позже мы увидим, что самые мощные наши компьютеры едва-едва могут имитировать работу нейронов мыши, и то лишь на несколько секунд. Потребуется немало десятилетий тяжелой работы, прежде чем роботы по интеллекту сравнятся с мышью, кроликом, собакой или кошкой и лишь затем с обезьяной.

История ИИ

Критики иногда указывают на интересную закономерность: каждые 30 лет специалисты по искусственному интеллекту заявляют, что сверхразумные роботы вот-вот будут созданы. Затем, когда действительность останавливает их порыв, наступает реакция.

В 1950-х, когда после окончания Второй мировой войны появились электронные компьютеры, ученые поражали публику невероятными, чудесными достижениями умных машин: автоматы брали и перекладывали кубики, играли в шашки и даже решали задачки по алгебре. Казалось, еще чуть-чуть — и появятся по-настоящему разумные машины. Публика поражалась. Вскоре в журналах появились статьи, в которых авторы с придыханием рассказывали о недалеких временах, когда в каждой кухне появится по роботу; машины будут готовить обед и убираться в доме. В 1965 г. пионер ИИ Герберт Саймон (Herbert Simon) заявил: «Через двадцать лет машины смогут делать любую работу, которую может делать человек». Но затем действительность вступила в свои права. Шахматные компьютеры проигрывали гроссмейстерам, да и умели они только играть в шахматы, ничего больше. Вообще, первые роботы напоминали цирковых пони, каждый из которых умеет выполнять всего один несложный трюк, чем и занимается на каждом представлении.

На самом деле в 1950-х гг. в области искусственного интеллекта было сделано немало настоящих прорывов, но вокруг роботов была поднята такая шумиха, а их перспективы оказались так раздуты, что вскоре наступила неизбежная реакция.

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

В 1974 г. под громкий хор критики правительства США и Великобритании прекратили финансирование этих разработок. Началась первая «зима» ИИ.

Сегодня исследователь ИИ Пол Абрахамс (Paul Abrahams) качает головой, вспоминая пьянящие 1950-е, когда он был студентом МИТ и все — решительно все! — казалось возможным. Он вспоминает: «Это как если бы группа людей предложила построить башню до Луны. Каждый год эти люди показывали бы с гордостью, насколько их башня стала выше по сравнению с прошлым годом. Вот только до Луны оставалось бы все так же далеко».

В 1980-х интерес и энтузиазм по отношению к ИИ вспыхнули вновь. На этот раз Пентагон вложил миллионы долларов в такие проекты, как умный вездеход, который должен был ездить в тылу противника, проводить разведку, спасать американских солдат и возвращаться к своим — и все это сам по себе. А японское правительство даже поддержало амбициозный проект создания компьютера пятого поколения, инициированный Министерством международной торговли и промышленности. Целью проекта было, помимо всего прочего, создание компьютерной системы, способной общаться на разговорном языке, рассуждать и даже предугадывать наши желания — и все к началу 1990-х.

К сожалению, единственное, что сумел сделать умный вездеход, — это потеряться. А проект компьютера пятого поколения после громкой шумихи был потихоньку закрыт без всяких объяснений. Как и прежде, риторика намного обогнала действительность. На самом деле и в 1980-х в области ИИ были реальные достижения, но, поскольку ожидания общества намного превосходили реальные возможности науки, вскоре вновь наступила реакция. Началась вторая «зима» ИИ, когда ручейки финансирования вновь пересохли, а разочарованные специалисты во множестве уходили из отрасли. Стало очевидно, что идее искусственного интеллекта чего-то недостает.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

В 1992 г. специалисты по ИИ со смешанными чувствами отметили особую дату, связанную с фильмом «2001 год: космическая одиссея», где свихнувшийся компьютер по имени HAL 9000 убивает участников межпланетной экспедиции. В фильме, снятом в 1968 г., говорилось, что к 1992 г. появятся роботы, способные свободно беседовать с человеком почти на любую тему, а также управлять космическим кораблем. Увы, в реальности было ясно, что наши самые продвинутые роботы способны состязаться в разумности разве что с тараканом, и то безуспешно.

В 1997 г. компьютер Deep Blue от IBM совершил исторический прорыв — он уверенно побил чемпиона мира по шахматам Гарри Каспарова. Deep Blue представлял собой чудо инженерной мысли и производил 11 млрд операций в секунду. Но вместо того, чтобы открыть все шлюзы, придать новое ускорение исследованиям в области искусственного интеллекта и начать новую эру, этот компьютер сделал прямо противоположное. Его достижение лишь подчеркнуло примитивность современных ИИ-исследований. По здравому размышлению можно было сделать очевидный вывод: Deep Blue не способен мыслить. Да, этот робот великолепен в шахматах, но тест на коэффициент интеллекта принес бы ему 0 баллов. После исторической победы с прессой общался только проигравший Каспаров — ведь Deep Blue не умеет разговаривать. Медленно и неохотно ученые начали осознавать неприятный факт: вычислительные мощности — это еще не разум. Специалист по ИИ Ричард Хеклер (Richard Heckler) говорит: «Сегодня можно купить за 49 долларов шахматную программу, которая выигрывает у любого гроссмейстера, но никому же не придет в голову считать ее разумной».

Но по закону Мура каждые полтора года появляется новое поколение компьютеров, и рано или поздно нынешний пессимизм забудется. Придет новое поколение энтузиастов и возродит дремлющие в этой области оптимизм и энергию. За тридцать лет, прошедшие с начала предыдущей ИИ-«зимы», прогресс в компьютерной области был достаточным, чтобы следующее

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

поколение исследователей вновь начало делать оптимистические прогнозы на будущее. Наконец пришло время настоящего искусственного интеллекта, говорят его сторонники. На этот раз все будет по-настоящему. Третья попытка приносит удачу. Но если они правы, то не приходит ли человечеству конец?

Является ли мозг цифровым компьютером?

Теперь математики понимают, что пятьдесят лет назад сделали принципиальную ошибку: решили, что мозг во всем подобен большому цифровому компьютеру. Сегодня совершенно очевидно, что это не так. В мозгу нет ни процессора Pentium, ни операционной системы Windows, ни программ-приложений — вообще нет никаких программ и подпрограмм, столь характерных для современного цифрового компьютера. На самом деле архитектура цифрового компьютера совершенно не похожа на архитектуру мозга; мозг — самообучающаяся машина, набор нейронов, связи между которыми обновляются всякий раз с получением нового задания. (А PC учиться не умеет, и ваш компьютер сегодня столь же туп, как был вчера.)

Исходя из сказанного, существует два подхода к моделированию мозга. Первый из них — традиционный подход «сверху вниз» — состоит в том, чтобы рассматривать роботов как цифровые компьютеры и с самого начала пытаться запрограммировать все правила, позволяющие нам быть разумными. А любой цифровой компьютер может быть сведен к так называемой «машине Тьюринга» — гипотетическому устройству, предложенному великим британским математиком Аланом Тьюрингом. Машина Тьюринга состоит из трех основных элементов: входа, центрального процессора, который «переваривает» поступающую информацию, и выхода. Все без исключения цифровые компьютеры построены на базе этой простой модели. Цель такого подхода — изготовить CD-ROM, на котором были бы записаны в формализованном виде все правила разумности. Стоит

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

вставить такой диск в дисковод — и компьютер внезапно оживает и становится разумным. По сути дела, такой мифический CD-ROM содержал бы все программное обеспечение, необходимое для создания думающих машин.

Однако в нашем мозгу нет ни программирования, ни программного обеспечения. Мозг больше похож на «нейронную сеть» — сложную систему нейронов, которые постоянно устанавливают между собой новые связи.

Нейронные сети подчиняются правилу Хебба: всякий раз, когда принимается верное решение, соответствующие нейронные связи укрепляются — всякий раз, когда нейроны успешно выполняют задание, определенные электрические связи между ними усиливаются. (Правило Хебба можно выразить ответом на известный вопрос: как музыканту попасть в Карнеги-холл? Ответ на него тоже известен: практика, практика и еще раз практика. В случае нейронной сети практика — путь к совершенству. Правило Хебба объясняет также, почему так трудно избавляться от дурных привычек — ведь нейронные связи, задействованные в них, весьма утоптаны.)

Нейронные сети построены на базе другого подхода — «снизу вверх». Вместо того чтобы получить все правила разумности готовыми, на блюдечке с голубой каемочкой, нейронные сети осваивают их самостоятельно; так младенец постигает окружающий мир, натываясь на все подряд и обучаясь на собственном опыте. Нейронные сети, вместо того чтобы пользоваться готовыми программами, учатся старым проверенным методом проб и ошибок.

Нейронные сети построены совершенно иначе, чем цифровые компьютеры. Если убрать из центрального процессора цифрового компьютера один-единственный транзистор, компьютер перестанет работать. Однако если удалить из человеческого мозга приличный кусок, мозг все же будет функционировать; функции утраченных частей возьмут на себя оставшиеся. Кроме того, можно точно сказать, где в цифровом компьютере

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

происходит «мыслительный процесс»: в центральном процессоре. Однако результаты сканирования человеческого мозга ясно показывают, что процесс мышления распределен по значительной части объема мозга. Различные зоны включаются в строгой последовательности, как будто мысли надо отбивать, подобно шарикам в пинг-понге.

Цифровой компьютер способен производить вычисления со скоростью, близкой к скорости света. Человеческий мозг по сравнению с ним работает невероятно медленно. Нервные импульсы движутся со скоростью всего лишь около 100 м/с. Но мозг более чем компенсирует этот недостаток, поскольку огромное число процессов в нем происходят параллельно. Это означает, что в нем одновременно работает 100 млрд нейронов, каждый из которых производит крохотную часть «вычисления», и каждый нейрон при этом связан с 10 000 других нейронов. И этот сверхмедленный параллельный процессор легко оставит позади сверхбыстрого одиночку. (Здесь можно вспомнить старую загадку: если одна кошка может съесть одну мышь за одну минуту, то за какое время миллион кошек сможет съесть миллион мышей? Ответ: за одну минуту.)

Ну и помимо всего прочего, мозг — не цифровое устройство. Транзисторы — это ворота, которые могут быть либо открыты, либо закрыты, что соответствует единице или нулю. Нейроны тоже представляют собой цифровые устройства (нейрон либо срабатывает, либо нет), но они могут быть и аналоговыми, т. е. передавать как дискретные, так и непрерывные сигналы.

Две проблемы с роботами

Учитывая очевидные ограничения компьютеров по сравнению с человеческим мозгом, несложно понять, почему нам до сих пор не удается научить компьютеры решать две ключевые задачи, которые человеческий мозг выполняет автоматически, без всякого труда. Эти задачи — распознавание

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

образов и следование здравому смыслу — уже более полувека не даются ученым. Именно поэтому в основном у нас до сих пор нет роботов-горничных, роботов-дворецких и роботов-секретарей.

Первая из названных задач — задача распознавания образов. Роботы видят намного лучше человека, но не понимают, что видят. Входя в комнату, робот раскладывает ее изображение на множество цветных точек, а затем, обрабатывая точки, получает набор линий, окружностей, квадратов и прямоугольников. После этого робот пытается соотнести полученную мешанину деталей по очереди с каждым из объектов, хранящихся в его памяти, — чрезвычайно нудная задача даже для компьютера. После многих часов вычислений ему, может быть, удастся соотнести линии на картинке со стульями, столами и людьми, находящимися в комнате. В отличие от роботов, мы, входя в комнату, за долю секунды схватываем взглядом стулья, письменные столы и людей. В самом деле, человеческий мозг — это по сути машина для распознавания образов.

Кроме того, у роботов нет здравого смысла. Роботы могут слышать намного лучше, чем люди, но они не понимают, что слышат. Рассмотрим, к примеру, следующие утверждения.

- Дети любят сладости, но не любят наказания.
- За веревку можно тянуть, но нельзя толкать.
- Палкой можно толкать, но нельзя тянуть.
- Животные не умеют говорить и не понимают по-английски.
- От вращения у человека может закружиться голова.

Для нас каждое из этих утверждений очевидно и проистекает из обычного здравого смысла. У роботов все не так. Не существует ни одного положения логики, ни одной строки программного кода, в которых бы утверждалось, что бечевкой ничего нельзя толкнуть. Сами мы убедились в истинности этих

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

и многих других «очевидных» утверждений на опыте, их никто не вкладывал в готовом виде нам в память.

При подходе «сверху вниз» основная проблема заключается в том, что для программирования человеческого здравого смысла, необходимого для имитации нашего мышления, потребовалось бы слишком много строк кода. К примеру, на описание принципов здравого смысла в объеме, доступном шестилетнему ребенку, ушли бы сотни миллионов строк. Ганс Моравек (Hans Moravec), бывший начальник лаборатории искусственного интеллекта в Университете Карнеги–Меллон, жалуется: «До сего дня программы ИИ не способны продемонстрировать ни крупицы здравого смысла. К примеру, медицинская диагностическая программа способна прописать антибиотик, если предложить ей для исследования сломанный велосипед. Дело в том, что у нее нет ни модели человека, ни модели болезни, ни модели велосипеда».

Тем не менее некоторые ученые упрямо верят, что единственное препятствие к овладению здравым смыслом — недостаток вычислительных мощностей. Они считают, что масштабный национальный проект наподобие Манхэттенского (в рамках которого была создана атомная бомба) наверняка смог бы преодолеть все препятствия и решить для роботов проблему здравого смысла. В 1984 г. была запущен проект под названием СУС, призванный создать «энциклопедию мысли» для роботов. Однако за прошедшие с тех пор несколько десятилетий все усилия участников проекта не увенчались сколько-нибудь серьезным успехом.

Цель проекта СУС была проста: освоить «100 млн вещей — примерно столько, сколько знает о мире средний человек, — к 2007 г.». Этот срок, как и несколько предыдущих, пришел и прошел, а успех так и не был достигнут. В ходе работы были достигнуты многие формальные рубежи из тех, что намечали для себя инженеры СУС, но ученым и по сей день не удалось ни на шаг приблизиться к овладению основами разума.

Человек против машины

Однажды мне довелось помериться мыслями с роботом — принять участие в интеллектуальном состязании с машиной Томазо Поджо (Tomaso Poggio) из MIT. Роботы не способны распознавать простые образы, как это делаем мы, но Поджо сумел создать компьютерную программу, которая может потягаться по скорости с человеком в одной достаточно специфической области: в «мгновенном распознавании». Речь идет об уникальной способности человека мгновенно, даже не сознавая того, узнать объект. (Мгновенное распознавание играло важную роль в эволюции человека — ведь у наших предков была лишь доля секунды на то, чтобы обнаружить притаившегося в кустах тигра, а осознать и обдумать этот факт можно было и потом.) Первое время робот Поджо стабильно набирал в особом визуальном тесте больше баллов, чем человек-участник.

Состязание между мной и машиной выглядело очень просто. Я сидел в кресло и некоторое время вглядывался в обычный компьютерный экран. Затем на экране на долю секунды мелькала картинка, а я должен был как можно быстрее нажать одну из двух кнопок — показать, вижу я на картинке какое-нибудь животное или нет. Решение нужно было принимать как можно быстрее — не дожидаясь восприятия картинки сознанием. Компьютер должен был принять по той же картинке аналогичное решение.

Стыдно признаться, но после множества тестов результаты машины и мои оказались примерно одинаковыми. Но иногда машина работала значительно лучше и оставляла меня далеко позади. Я проиграл компьютеру. (Единственным утешением было то, что, как мне сказали, компьютер дает правильный ответ в 82% случаев, а человек в среднем лишь в 80%.)

Ключ к успеху программы Поджо в том, что в ней использованы уроки матери-природы. Многие ученые только сейчас начинают понимать истинность утверждения «Колесо уже изобретено, почему бы не скопировать его?». Приведем пример.

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Обычно робот, глядя на картинку, пытается разложить ее на элементы и представить как совокупность линий, кругов, квадратов и других геометрических форм. А вот робот Поджо действует иначе.

Человек, глядя на картинку, сначала воспринимает контуры объектов, затем детали внутри каждого объекта, затем оттенки внутри деталей и т. д. Таким образом, мы как бы расщепляем изображение на множество слоев. Компьютер, обработав один слой изображения, объединяет его со следующим и включает в общую картину. Так, шаг за шагом, слой за слоем, он имитирует иерархическую обработку изображения, которую использует наш мозг. (Программе Поджо недоступны невероятные возможности распознавания образов, которые мы с вами воспринимаем как нечто само собой разумеющееся, — трехмерная визуализация, распознавание тысяч объектов под самыми разными углами и т. д., — но все же нельзя не признать, что это серьезное достижение.)

Позже мне довелось увидеть в действии оба подхода к созданию ИИ. Сначала я побывал в Центре искусственного интеллекта Стэнфордского университета и встретился с роботом STAIR (Stanford artificial intelligence robot), созданным на базе традиционного подхода. STAIR — робот ростом около 120 см с огромной механической рукой на шарнирах. Этой рукой робот может брать со стола предметы. Кроме того, STAIR мобилен и может самостоятельно передвигаться по офису или жилищу. У него есть 3D-камера, которая фокусируется на объекте и подает в компьютер его трехмерное изображение, при помощи которого механическая рука может правильно захватить объект. Вообще, роботы научились брать объекты еще в 1960-х гг., и вскоре такие роботы появились на автомобильных заводах Детройта.

Но внешность обманчива. STAIR способен на большее. В него, в отличие от детройтских роботов, не заложен жесткий сценарий. Он действует сам по себе. Если вы, к примеру, по-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

просите робота взять апельсин, то он проанализирует лежащие на столе предметы, сравнит их с тысячами изображений, заранее заложенных в его память, узнает апельсин и поднимет его со стола своей механической рукой. Кроме того, он способен идентифицировать предмет более точно, если возьмет в руку и будет поворачивать и рассматривать со всех сторон.

Чтобы проверить возможности STAIR, я перемешал предметы на столе и посмотрел, как робот будет действовать. STAIR корректно проанализировал новое расположение предметов, протянул руку и взял то, что я попросил. Создатели этого робота ставят перед собой цель научить его свободно передвигаться в доме или офисе, брать различные предметы, взаимодействовать с различными объектами и инструментами и даже разговаривать с людьми на упрощенном языке. Если это удастся, робот будет способен выполнять практически все функции, которые выполняет в офисе мальчик на побегушках. STAIR — образец подхода «сверху вниз»: все его действия запрограммированы от начала и до конца. (Хотя STAIR может распознавать предметы под разными углами, но количество предметов, которые он вообще способен распознать, пока ограничено. Окажись такой робот на улице в окружении случайных объектов, он будет мгновенно парализован.)

Позже у меня появилась возможность посетить Нью-Йоркский университет, где Янн ЛеКун (Yann LeCun) экспериментирует с совершенно другим созданием. Его робот носит имя LAGR (Learning applied to ground robots — обучение в приложении к наземным роботам) и представляет собой образец подхода «снизу вверх»: ему приходится учиться всему с нуля, натываясь на самые разные предметы. LAGR — робот размером с маленький гольф-мобильчик, оборудованный двумя цветными стереокамерами; он постоянно сканирует ландшафт и распознает встречающиеся предметы. После этого он начинает двигаться среди этих предметов, старательно их объезжая и узнавая что-то новое с каждым проездом. Робот оборудован GPS-приемни-

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

ком и имеет два инфракрасных датчика, способные засекаать предметы на его пути. Он содержит три мощных процессора Pentium и подсоединен к гигабитной сети Ethernet. Мы с роботом отправились гулять по близлежащему парку, где LAGR учился объезжать возникающие на его пути помехи. Каждый раз, проходя маршрут, он приобретал новую сноровку и учился лучше обходить препятствия.

Между LAGR и STAIR есть очень важное различие, состоящее в том, что LAGR специально разработан для самообучения. Каждый раз, наталкиваясь на какое-то препятствие, он объезжает вокруг этого объекта и учится узнавать и миновать его, чтобы в следующий раз не натолкнуться. Если в памяти STAIR хранятся изображения тысяч предметов, то в памяти LAGR нет практически никаких изображений; вместо этого робот создает как бы мысленную карту всех встреченных препятствий и на каждом проходе обновляет и уточняет ее. В отличие от автомобиля-робота, который жестко запрограммирован и движется по маршруту, заранее проложенному для него при помощи системы GPS, LAGR движется совершенно самостоятельно, без всяких указаний со стороны человека. Вы говорите ему, куда двигаться, и он пускается в путь. Со временем подобных роботов можно будет обнаружить на Марсе, на поле боя и в наших жилищах.

Энтузиазм и энергия этих исследователей произвели на меня сильное впечатление. Сами они глубоко убеждены, что закладывают основы искусственного интеллекта и что когда-нибудь результаты их работы вызовут в обществе глобальные изменения, которые человечество сегодня только начинает осознать. Но взгляд со стороны позволил мне увидеть, как далеко им еще до успеха. Даже тараканы способны распознавать предметы и учиться обходить их. Мы же пока находимся на той стадии, когда даже самые примитивные из созданий матери-природы способны победить в состязании с нашими самыми умными роботами.

БЛИЖАЙШЕЕ БУДУЩЕЕ (с настоящего момента до 2030 г.)

Экспертные системы

Сегодня во многих домах уже появились простые роботы, предназначенные для чистки ковров. Существуют также роботы-охранники, патрулирующие здания по ночам, роботы-экскурсоводы и роботы-рабочие. В 2006 г. было примерно подсчитано, что в мире существует 950 000 промышленных роботов, а в домах и офисах работает 3 540 000 обслуживающих роботов. В ближайшие десятилетия робототехника будет развиваться в нескольких направлениях, возможно неожиданных, но новые роботы не будут похожи на тех, что знакомы нам по научной фантастике.

Самые большие успехи, скорее всего, будут достигнуты в области так называемых экспертных систем — компьютерных программ, заключающих в себе мудрость и опыт человечества. Как уже говорилось в предыдущей главе, однажды мы, вероятно, получим возможность поговорить с Интернетом на настенном экране и увидеть доброжелательное лицо и получить совет от рободоктора или робоюриста.

Эта область называется эвристикой и сводится к следованию некоей системе формальных правил. К примеру, планируя туристическую поездку, вы обратитесь к лицу на настенном интернет-экране и сообщите всю необходимую информацию: длительность поездки, пункт назначения, отели, ценовой диапазон. При этом экспертная система по опыту прошлых поездок будет заранее знать ваши основные предпочтения; она свяжется с отелями, авиакомпаниями и т. п. и предложит вам наилучшие условия. Но при разговоре с ней вам придется пользоваться не свободной разговорной речью, а довольно формальным стилизованным языком, понятным компьютеру. Такая система сможет быстро выполнять множество полезных задач. Вы будете просто отдавать приказы; она сама зарезервирует для вас столик

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

в ресторане, найдет ближайшие магазины, закажет продукты, забронирует авиабилет и т. п.

Именно благодаря успехам эвристики в последние десятилетия у нас сегодня есть простые поисковые системы, которыми так удобно пользоваться. Но это довольно грубые системы. Каждому пользователю очевидно, что он имеет дело не с человеком, а с машиной. В будущем, однако, роботы станут настолько изощренными, что будут вести себя почти по-человечески и свободно работать с нюансами и сложными запросами.

Может быть, самые практичные приложения будут созданы в области здравоохранения. К примеру, если сегодня вы почувствуете себя плохо, вам придется не один час просидеть в приемной службы экстренной помощи, прежде чем удастся попасть к врачу. В недалеком будущем в подобной ситуации вы, вероятно, сможете просто подойти к настенному интернет-экрану и поговорить с рободоктором, одним нажатием кнопки поменять лицо — и даже личность — собеседника на экране. Это симпатичное лицо, которое по запросу будет всякий раз появляться на вашем экране, задаст вам ряд несложных вопросов («Как вы себя чувствуете?», «Где болит?», «Когда начались боли?», «Как часто они возникают?»).

Каждый раз, отвечая на вопрос, вы будете выбирать один из представленных на экране вариантов. Вам не придется печатать ответ на клавиатуре, достаточно будет произнести его вслух.

Каждый из ваших ответов, в свою очередь, будет вызывать очередную группу вопросов. После вопросов и ответов рободоктор, опираясь на опыт лучших врачей мира, сможет поставить вам диагноз. Помимо ваших ответов, рободоктор будет анализировать данные из вашей ванной, с вашей одежды и мебели, которые непрерывно контролируют ваше здоровье через чипы-ДНК-анализаторы. И не исключено, что он попросит вас проверить себя при помощи портативного магнитно-резонансного томографа, данные с которого будут затем обработаны суперкомпьютером. (Примитивные версии подобных эвристиче-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

ских программ уже существуют — к примеру, WebMD, — но им не хватает нюансов и полной мощи эвристических алгоритмов.)

Таким образом, можно будет исключить большую часть визитов к врачу и значительно ослабить нагрузку на систему здравоохранения. Если проблема окажется серьезной, робот-доктор порекомендует вам поехать в больницу, где врачи-люди смогут обеспечить вам интенсивное лечение и уход. Но даже там вы столкнетесь с программами ИИ в виде роботов-сиделок, похожих на ASIMO. Эти роботы-сиделки не будут в полном смысле разумными, но смогут передвигаться из одной больничной палаты в другую, раздавать пациентам назначенные лекарства и обеспечивать другие их потребности. Может быть, они будут двигаться по проложенным в полу рельсам, может быть, независимо, как ASIMO.

Единственный на данный момент существующий робот-сиделка — мобильный робот RP-6, которого начинают использовать в некоторых больницах, таких как медицинский центр Университета Калифорнии в Лос-Анджелесе. В основе своей это телеэкран мобильного компьютера, который передвигается на роликах. На телеэкране вы видите лицо настоящего врача, который в это время может находиться на расстоянии многих миль от больницы. Робот оборудован видеокамерой, которая позволяет врачу видеть то, на что он смотрит. Есть также микрофон, чтобы врач мог разговаривать с пациентом. Врач может управлять роботом дистанционно при помощи джойстика, может общаться с пациентами, наблюдать за приемом лекарств и т. д. Известно, что в год в США в отделения интенсивной терапии поступает 5 млн пациентов, но на них приходится всего 6000 врачей, достаточно квалифицированных, чтобы лечить критически больных. Поэтому роботы, подобные RP-6, могли бы смягчить кризис системы экстренной помощи, где на одного врача приходится множество пациентов. В будущем такие роботы, возможно, станут более автономными, научатся самостоятельно ориентироваться в здании больницы и общаться с пациентами.

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Япония — один из бесспорных лидеров в этой области техники. Эта страна тратит на роботов немалые средства, стремясь смягчить грядущий кризис системы здравоохранения. Пожалуй, не стоит удивляться тому, что именно Япония стала одной из ведущих стран в области робототехники. Причин тому несколько. Во-первых, в синтоизме считается, что у неодушевленных предметов тоже есть своя духовная сущность. Даже у механических устройств. На Западе дети иногда плачут и кричат от ужаса при виде роботов, что неудивительно после просмотра многочисленных фильмов о бешеных машинах-убийцах. Но для японских детей роботы — это родственные души, игривые и всегда готовые помочь. В японских универмагах покупателей нередко встречает робот-рецепционист. Вообще, 30% всех коммерческих роботов мира работают именно в Японии.

Во-вторых, Японии в данный момент угрожает демографический кошмар. Население этой страны стареет быстрее всех в мире. Уровень рождаемости упал до невероятной цифры — всего 1,2 ребенка на семью, а иммиграции в Японии практически нет. Некоторые демографы говорят, что мы сейчас наблюдаем крушение поездов в замедленном темпе: один демографический поезд (стареющее население и падение уровня рождаемости) в ближайшие годы столкнется с другим (низкий уровень иммиграции). Наиболее остро все эти явления будут протекать в области здравоохранения и медицины, где ASIMO-подобные роботы-сиделки могут оказаться очень полезными. Такие роботы идеально подходят для больничных задач, таких как доставка медикаментов и приборов, раздача лекарств и круглосуточное наблюдение за пациентами.

СЕРЕДИНА ВЕКА (2030–2070 гг.)

Модульные роботы

К середине века в нашем мире будет полно роботов, причем мы, возможно, не будем их даже замечать. Дело в том, что большин-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

ство роботов, вероятно, не будет похоже на человека внешне. Они будут скрыты из виду, замаскированы под змей, насекомых и пауков, выполняющих неприятные, но очень важные задачи. Это будут модульные роботы, способны менять форму в зависимости от задания.

Мне довелось встретиться с одним из пионеров в этой области. Вэйминь Шэнь (Weimin Shen) из Университета Южной Калифорнии намеревается создавать небольшие кубические модули, которые можно заменять столь же легко, как кубики Lego, и соединять произвольным образом. Он называет свои создания полиморфными роботами, поскольку они способны изменять форму, геометрию и функции. Оказавшись в его лаборатории, я мгновенно увидел разницу между его подходом к робототехнике и подходом Стэнфорда и MIT. На первый взгляд обе эти лаборатории напоминали игровую комнату. Всюду, куда ни посмотри, можно было увидеть всевозможные роботизированные «игрушки» с чипами внутри и некоторой долей интеллекта. Рабочие столы были завалены самолетами, вертолетами, вездеходами и насекомовидными роботами с процессорами внутри, и все это было способно самостоятельно двигаться. Каждый робот в этих лабораториях — это независимая самодостаточная единица.

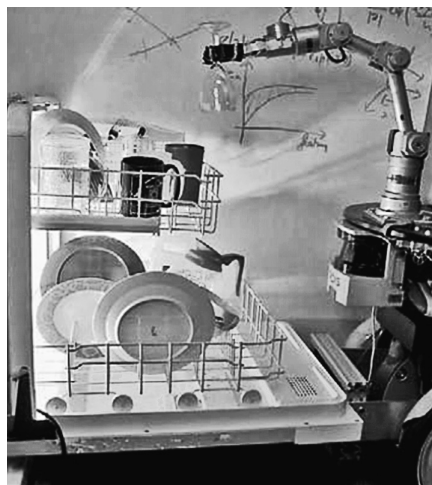
Но, входя в лабораторию Университета Южной Калифорнии, видишь нечто совершенно иное. Всюду стоят коробки с кубиками размером около 5 см, которые можно соединять или разделять и из которых можно собирать различные «существа», напоминающие животных. Можно собрать змею, способную проползти по проведенной линии. Или кольцо, которое будет кататься наподобие обруча. Затем можно изогнуть цепочку кубиков или соединить их между собой при помощи Y-образных «суставов» — и получатся совершенно новые устройства, напоминающие осьминогов, пауков, собак или кошек. Представьте себе разумный набор Lego, где каждый кубик обладает интеллектом, а все вместе они способны организоваться в любую конфигурацию, какую только можно вообразить.

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

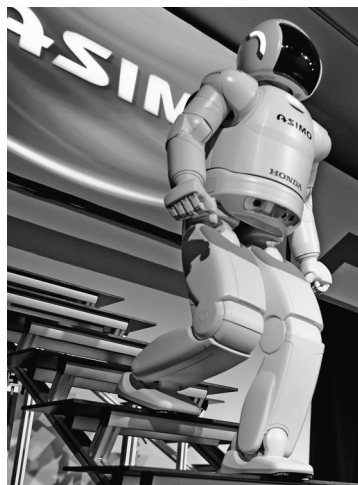
Это свойство могло бы оказаться полезным для проникновения через преграды. Представьте себе паукообразного робота, который пробирается по канализационной системе и встречается на пути стенку. Первым делом он осматривает ее и находит хотя бы небольшое отверстие; затем он разбирает



С разрешения профессора Янна Лекуна (Yann LeCun)



С разрешения профессора Ашутоса Саксена (Ashutosh Saxena)



автор Джейсон Кемпин (Jason Kempin), WireImage

Различные типы роботов: LAGR (вверху), STAIR (внизу слева) и ASIMO (внизу справа). Несмотря на громадный рост компьютерных мощностей, по интеллекту эти роботы уступают таракану

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

себя на модули. Каждый блок в отдельности протискивался бы через отверстие, а с другой стороны все они вновь собирались бы вместе. Модульного робота почти невозможно будет остановить, ведь он сможет преодолевать таким образом почти любые препятствия.

Очень может быть, что без модульных роботов нам уже скоро не удастся поддерживать в рабочем состоянии разрушающиеся объекты инфраструктуры. К примеру, в 2007 г. рухнул мост через Миссисипи в Миннеаполисе; погибли 13 и пострадали 145 человек. Причиной катастрофы, судя по всему, были возраст моста, перегрузки и изначальные недостатки проекта. Можно предположить, что нас ждут сотни подобных инцидентов по всей стране, но непрерывно наблюдать за каждым старым мостом попросту слишком дорого. Именно здесь могут пригодиться модульные роботы; они будут молча и незаметно проверять мосты, дороги, тоннели, трубы и электростанции и при необходимости даже ремонтировать их. (К примеру, мосты, ведущие в нижнюю часть Манхэттена, сильно пострадали от коррозии и небрежения; их не ремонтировали много лет. Один рабочий обнаружил бутылку из-под кока-колы 1950-х гг., оставленную после последней покраски конструкции. Более того, одна из секций стареющего Манхэттенского моста недавно пришла в аварийное состояние и едва не обвалилась, так что мост пришлось закрыть на ремонт.)

Роботы-хирурги и роботы-повара

Роботы могут быть не только поварами и музыкантами, но и хирургами. К примеру, одно из важных требований в хирургии — ловкость и точность человеческой руки. Хирурги, как и простые смертные, устают в ходе многочасовых операций, эффективность их действий падает. У них начинают дрожать пальцы. Не исключено, что эти проблемы удастся решить при помощи роботов.

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Так, при традиционной хирургической операции коронарного шунтирования делается разрез длиной около 30 см в середине груди, что, естественно, можно делать только под общим наркозом. Вскрытие грудной клетки увеличивает вероятность инфекции и продолжительность послеоперационного периода, порождает сильные боли и дискомфорт в процессе заживления и к тому же оставляет уродливый шрам. Но все эти негативные явления можно сильно уменьшить при помощи роботизированной хирургической системы, известной как да Винчи. Робот да Винчи имеет четыре механизированные руки — при помощи одной он манипулирует видеокамерой, остальные три предназначены для точнейших хирургических операций. Вместо длинного разреза груди робот делает лишь несколько крохотных разрезов на боку. В настоящее время эту систему используют 800 больниц в Европе, Северной и Южной Америке; только в 2006 г. с ее помощью было проведено 48 000 операций. Мало того, операцию можно проводить удаленно через Интернет, так что хирург мирового класса может, не выезжая из крупного города, прооперировать пациента в далекой деревне на другом материке.

В будущем более продвинутые версии подобных систем научатся проводить операции на микроскопических кровеносных сосудах, нервных волокнах и других тканях при помощи микроскопических скальпелей, пинцетов и игл, что сегодня невозможно. Более того, в будущем хирург, вероятно, практически не будет делать разрезов на коже пациента. Нормой станет неинвазивная хирургия.

Эндоскопы (длинные трубки, вводимые в тело, при помощи которых можно освещать тело изнутри и резать ткани) станут тоньше обычной нити. Большую часть механической работы будут осуществлять микромашины размером с точку в конце этого предложения. (Вспомним, как в одном из эпизодов оригинального «Звездного пути» доктор Маккой с отвращением говорил о том, что в XX в. врачам приходилось вскрывать кожные покровы.) Недалек день, когда все это станет реальностью.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Студенты-медики в будущем будут учиться вскрывать трехмерные виртуальные изображения человеческого тела, причем каждое движение руки будет воспроизводиться роботом в соседней комнате.

Японцы, помимо всего прочего, достигли немалых успехов в разработке роботов, способных общаться с человеком. В Нагое есть робот-повар; он может за несколько минут приготовить вам стандартный обед из меню заведений быстрого питания. Вы просто выбираете в меню блюда, и робот-повар тут же, в вашем присутствии, готовит их. Этот робот, построенный компанией Aisei (ее основная продукция — промышленные роботы), способен приготовить порцию лапши за 1 минуту 40 секунд и обслужить за день до 80 клиентов. Внешне робот-повар очень похож на роботов, которые работают в Детройте на автомобильных сборочных линиях. У него есть две большие механические руки, все движения которых точно запрограммированы. Но вместо того, чтобы закручивать гайки и сваривать металл на заводе, его механические пальцы берут в определенном порядке ингредиенты из специальных мисочек (гарнир, мясо, мука, соусы, специи и т. п.). Механические руки смешивают все в нужных пропорциях, а затем собирают готовый сэндвич, салат или суп. Повар фирмы Aisei выглядит как робот и напоминает две гигантские руки, торчащие из кухонной стойки. Но планируется, что следующие модели будут более человекоподобными.

Фирма Toyota, тоже в Японии, создала робота, который умеет играть на скрипке почти так же хорошо, как любой профессионал. Этот робот напоминает ASIMO, но ведет себя иначе: он способен брать скрипку, раскачиваться в такт музыке, а затем точно и аккуратно играть сложные скрипичные пьесы. Звук получается поразительно реалистичным; кроме того, робот, как любой талантливый музыкант, склонен к величественным жестам. Хотя уровень исполнительского мастерства робота-скрипача пока не дотягивает до концертного, он все же достаточно хорош, чтобы

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

развлечь аудиторию. Конечно, еще в позапрошлом веке существовали механические пианино, которые исполняли фортепианные мелодии, записанные на большом вращающемся диске. Робот фирмы Toyota запрограммирован, как и эти механические устройства. Но разница в том, что робот специально разработан таким образом, чтобы как можно реалистичнее имитировать все движения и позы скрипача-человека.

И еще о музыке. В японском Университете Васэда ученые разработали робота-флейтиста. В его груди есть специальные полости, куда, как в легкие, закачивается воздух; затем этот воздух струйкой выходит наружу и извлекает звуки из настоящей флейты. Этот робот способен играть довольно сложные мелодии, такие как «Полет шмеля». Следует подчеркнуть, что роботы-музыканты не могут сочинять новую музыку, но в исполнительстве они вполне способны стать человеку соперниками.

Робот-повар и робот-музыкант тщательно запрограммированы. Они не автономны. В сравнении со старыми механическими пианино современные роботы, конечно, невероятно сложны, но, если разобраться, действуют они на тех же принципах. До настоящих роботов-горничных и роботов-дворецких пока еще очень далеко. Не исключено, однако, что «потомки» описанных роботов — повара, скрипача и флейтиста — когда-нибудь прочно войдут в нашу жизнь и будут исполнять в ней функции, которые прежде считались исключительно человеческими.

Эмоциональные роботы

Вполне возможно, что к середине столетия наступит эра эмоциональных роботов.

В прошлом писатели нередко фантазировали о роботах, которые мечтают стать людьми и обрести эмоции. В «Пиноккио» деревянная марионетка хотела стать настоящим мальчиком. В «Волшебнике Изумрудного города» Железный Дровосек мечтал обрести сердце. А в сериале «Звездный путь: Новое по-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

коление» андроид Дейта пытался овладеть эмоциями, рассказывая анекдоты и вычисляя, что в них заставляет людей смеяться. Вообще говоря, одна из распространенных тем научной фантастики — утверждение, что, хотя роботы будут становиться все умнее, суть эмоций всегда будет ускользать от них. Когда-нибудь роботы станут умнее нас, говорят некоторые писатели-фантасты, но они никогда не научатся плакать.

На самом деле это утверждение, скорее всего, неверно. Сегодня ученые уже далеко продвинулись в понимании истинной природы эмоций. Во-первых, эмоции сообщают нам, что для нас полезно, а что вредно. Подавляющее большинство вещей в мире либо вредно, либо практически бесполезно для человека. Если нам что-то «нравится», значит, это что-то принадлежит к той крохотной доле вещей и явлений окружающего мира, которые для нас благоприятны. Соответствующая эмоция учит нас узнавать такие вещи.

Вообще говоря, все наши эмоции (ненависть, ревность, страх, любовь и т. п.) появились миллионы лет назад в результате эволюции и призваны были защитить наших предков от опасностей враждебного мира и помочь в воспроизводстве. Все они помогают человеку как можно шире распространить свои гены в следующем поколении.

Принципиальная важность эмоций в эволюции человека подтверждается современными исследованиями. Невролог Антонио Дамасио (Antonio Damasio) из Университета Южной Калифорнии занимается изучением людей, пострадавших от травмы или болезни мозга. У некоторых его пациентов нарушена связь между рациональной, мыслительной частью головного мозга (корой) и эмоциональным центром (миндалевидным телом), расположенным глубоко, в центральной части мозга. Эти люди совершенно нормальны, за исключением того, что они не испытывают никаких эмоций.

Одна проблема, связанная с этим, очевидна: такие люди не способны сделать выбор. Купить что-нибудь — серьезная

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

проблема для них, потому что все вещи кажутся одинаковыми, не важно, дорогие они или дешевые, кричащие или изысканные. Назначить встречу почти невозможно, ведь все даты в будущем для таких людей одинаковы. Похоже, они «знают, но не чувствуют», говорит Дамасио.

Иными словами, эмоции играют огромную роль; в частности, именно они создают для нас шкалу ценностей, опираясь на которую мы можем решить, что важно, что нет, что дорого, что красиво, что ценно. Без эмоций все вокруг будет иметь для нас равную ценность, а необходимость что-то решать — а решать нам приходится постоянно — будет вызывать ступор. Ученые сейчас начинают понимать, что эмоции — это не роскошь, а необходимое условие разума.

К примеру, если вы вспомните «Звездный путь» и еще раз посмотрите, как Спок и Дейта выполняют свою работу будто бы без всяких эмоций, вы сразу поймете, насколько недостоверно все это снято. Спок и Дейта постоянно проявляют эмоции — им ведь все время приходится что-то оценивать и решать. Так, они решили, что важно стать офицером, что выполнять определенные обязанности просто необходимо, что Федерация преследует благородную цель, что человеческая жизнь бесценна и т. п. Так что утверждение о том, что может существовать офицер, не испытывающий никаких эмоций, всего лишь иллюзия.

Кроме того, эмоциональность роботов может стать вопросом жизни и смерти. Не исключено, что в будущем ученые создадут роботов-спасателей — роботов, которых будут посылать в огонь, в районы землетрясений, взрывов и т. п. Им придется производить тысячи оценок и принимать тысячи всевозможных решений о том, кого и что спасти, каким образом и в каком порядке. Изучая царящий вокруг них хаос, они должны будут оценивать стоящие перед ними задачи и определять приоритеты.

Эмоции сыграли принципиальную роль и в эволюции человеческого мозга. Если вы рассмотрите общие анатомические

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

черты мозга, то заметите, что их можно объединить в три большие категории*.

Во-первых, это «рептильный» мозг, расположенный возле основания черепа и соответствующий почти всему объему мозга рептилий. Эта часть мозга контролирует простейшие жизненные функции, такие как равновесие, агрессия, территориальность, поиск пищи и т. п. (Иногда при взгляде на змею, которая, в свою очередь, смотрит на вас, возникает жутковатое ощущение. Хочется узнать, о чем думает змея. Если теория, о которой идет речь, верна, змея вообще ни о чем особенно не думает, она просто оценивает вас с кулинарной точки зрения.)

Если взглянуть на более высокоразвитые организмы, увидим, что у них мозг увеличился и распространился вперед, к передней части черепа. На этом уровне мы находим «обезьяний» мозг, или лимбическую систему, расположенную в центре нашего мозга. Эта система включает миндалевидное тело, занятое обработкой эмоций. Особенно развита лимбическая система у животных, живущих группами. Общественным животным, которые охотятся стаями, для понимания законов стаи нужен весьма развитый интеллект. Для них выживание в природе зависит от успешного сотрудничества с другими особями, но, поскольку говорить они не умеют, передавать свое эмоциональное состояние им приходится при помощи языка тела.

Наконец, у человека имеется передняя часть мозга и внешняя его часть — кора, слой, который делает человека человеком и управляет рациональным мышлением. Если у других животных доминируют инстинкт и генетика, то человек может размышлять и рассуждать логически, и эту возможность обеспечивает ему кора головного мозга.

Если такая эволюционная последовательность верна, это означает, что эмоции должны будут сыграть решающую роль

* Речь идет о так называемой теории триединого мозга, высказанной впервые в середине XX в. Однако следует заметить, что по современным представлениям она приложима скорее к функциональной, а не к анатомической структуре мозга. — *Прим. пер.*

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

в создании автономных роботов. Управляющие центры всех созданных до сих пор роботов имитируют лишь рептильный мозг. Эти роботы могут ходить, осматриваться вокруг, поднимать предметы — и почти ничего больше. Общественные животные, с другой стороны, обладают более развитым интеллектом, чем те, что обладают только рептильным мозгом. Для социализации и овладения законами стаи животному необходимы эмоции. Вывод очевиден: ученым еще предстоит пройти большой путь, прежде чем они смогут хоть как-то смоделировать лимбическую систему и кору головного мозга.

Синтия Бризель (Cynthia Breazeal) из MIT создала робота специально для решения этой проблемы. Лицом этот робот по имени KISMET больше всего напоминает, пожалуй, лукавого эльфа. На первый взгляд он даже кажется живым; в ответ на ваши действия его лицо приходит в движение и передает различные эмоции. Меняя выражение лица, KISMET может изобразить широкий спектр эмоций. Мало того, женщины при общении с этим роботом, похожим на ребенка, часто переходят на «детский язык», которым пользуются матери при общении с маленькими детьми. Но, хотя роботы вроде KISMET'a разработаны специально для имитации эмоций, ученые не питают иллюзий: разумеется, на самом деле этот робот не испытывает никаких эмоций. В определенном смысле он похож на магнитофон, запрограммированный на воспроизведение не звуков, а движений лицевых мускулов, соответствующих различным эмоциям человека. Он не понимает, что делает. Но KISMET — все же прорыв в робототехнике; оказывается, для создания робота, способного имитировать человеческие эмоции так, что человек на них отзовется, не нужны особенно сложные программы.

Такие эмоциональные роботы обязательно найдут путь в наши дома. Они вряд ли станут нашими доверенными лицами, секретарями или горничными, но смогут взять на себя процедуры, которые подчиняются строгим правилам и которые

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

можно запрограммировать на основе эвристики. К середине века они, возможно, дорастут интеллектуально до уровня собаки или кошки. Подобно домашним любимцам, эти роботы будут демонстрировать привязанность к хозяину, так чтобы человеку нелегко было их выбрасывать. Вы не сможете разговаривать с ними обычным языком, но они будут понимать заранее запрограммированные команды — может быть, сотни команд. Если же вы попросите такого робота сделать что-то не заложенное заранее в память (к примеру, скажете: «Иди запусти воздушного змея»), он ответит просто сконфуженным, непонимающим взглядом. (Если к середине века роботы-собаки и роботы-кошки смогут вести себя и реагировать на окружающее в точности как настоящие животные, возникнет вопрос: действительно ли эти животные-роботы испытывают эмоции и умнее ли они обычных кошек и собак?)

Фирма Sony тоже экспериментировала с эмоциональными роботами. Она разработала робота-собаку AIBO. Это первая игрушка, способная реалистично, хотя и довольно примитивно, изображать эмоциональный отклик на действия хозяина. К примеру, если вы приласкаете AIBO и погладите его по спине, он сразу же начнет довольно ворчать, издавая успокаивающие звуки. AIBO может ходить, исполнять голосовые команды и даже в какой-то степени учиться воспринимать новое. Но этот робот не может научиться новым эмоциям и эмоциональным реакциям. (Программа была прекращена в 2005 г. по финансовым соображениям, но у нее до сих пор есть последователи; они совершенствуют программное обеспечение робота и «учат» AIBO исполнять новые трюки.) Не исключено, что в будущем роботы-любимцы, способные поддерживать эмоциональную связь с детьми, станут обычными.

Тем не менее, хотя набор эмоций у таких роботов будет внушительным и они действительно смогут поддерживать с ребенком длительную эмоциональную связь, настоящих эмоций они испытывать не будут.

Инженерный анализ мозга

К середине столетия мы, вероятно, сможем достигнуть очередного важного рубежа в истории ИИ: провести «инженерный анализ», т. е. проанализировать структуру человеческого мозга и создать его полноценную модель. Ученые, разочарованные неудачами в создании «настоящего» робота из кремния и стали, пробуют противоположный подход: «разбирают» мозг, нейрон за нейроном, — точно так же, как механик мог бы разбирать двигатель автомобиля, винтик за винтиком, — а затем начинают имитировать работу этих нейронов на громадном компьютере. Эти ученые пытаются моделировать работу нейронов у животных, начиная с мышей и кошек и постепенно поднимаясь вверх по эволюционной лестнице. У них вполне определенная цель и задача, которую, вероятно, можно будет решить к середине века.

Фред Хэпгуд (Fred Hargood) из МТИ пишет: «Если мы выясним, как работает мозг — как *в точности* он работает, на том же уровне, как мы понимаем работу мотора, — почти все учебники придется переписать».

Первым шагом в инженерном анализе, или «реверсивном проектировании», мозга должно было стать понимание его общей структуры. Но даже решение этой простой задачи представляло собой долгий болезненный процесс. Если рассматривать исторически, то отдельные части мозга врачи и ученые обнаруживали во время вскрытий, не имея при этом никакого представления о выполняемых ими функциях. Ситуация начала постепенно меняться, когда ученые стали исследовать людей с травмами мозга и обнаружили, что повреждение различных участков мозга соответствовало различным изменениям в поведении. Жертвы инсульта и люди, перенесшие травму или заболевание мозга, демонстрировали вполне конкретные изменения в поведении, которые затем можно было соотнести с повреждением конкретных частей мозга.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Самый наглядный случай такого рода произошел в 1848 г. в Вермонте, когда металлический стержень длиной более метра пробил насквозь череп железнодорожного десятника по имени Финейс Гейдж (Phineas Gage). Причиной этой исторической травмы стал случайный взрыв динамита. Стержень вошел десятнику в нижнюю часть лица сбоку, раздробил челюсть, прошел сквозь мозг и вышел через макушку. Как ни удивительно, человек выжил после страшной травмы, хотя одна или обе лобные доли его мозга были разрушены. Врач, лечивший Гейджа, поначалу не мог поверить, что человек может вынести такое и остаться в живых. Несколько недель раненый провел в полубессознательном состоянии, но затем чудесным образом оправился. После того несчастного случая он прожил еще двенадцать лет — ездил по стране, работал время от времени — и умер в 1860 г. Врачи сохранили его череп и стержень, которым была нанесена травма, и за прошедшие годы то и другое не один раз подвергалось тщательнейшему изучению. Современные технологии, в частности использование компьютерной томографии, позволили восстановить все детали этого необычайного случая.

Надо сказать, что это событие навсегда изменило представления ученых о проблеме взаимоотношений сознания и тела. Ранее считалось, даже в научных кругах, что душа и тело — это две совершенно независимые сущности. Ученые со знанием дела писали о некоей «жизненной силе», которая одушевляет тело и никак не зависит от мозга. Но отчеты об этом происшествии, которые разошлись очень широко, ясно указывали на то, что личность Гейджа после того несчастного случая заметно изменилась. Говорилось, что симпатичный, общительный и работающий человек после травмы превратился в раздражительного грубияна. После этого случая ученым стало окончательно ясно, что различные участки мозга отвечают за различные аспекты поведения, а потому тело и душа неразделимы.

Следующий прорыв в деле изучения мозга произошел в 1930-е гг., когда неврологи и нейрохирурги, в частности Уайл-

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

дер Пенфилд (Wilder Penfield), заметили, что электрическое воздействие на различные участки мозга вызывает стимуляцию определенных частей тела пациента; эксперименты проводились во время операций на открытом мозге пациентов, страдающих эпилепсией. Прикосновение электрода к той или иной части коры головного мозга могло вызвать движение руки или ноги пациента. Опираясь на опыт множества операций, Пенфилд составил примерную схему коры головного мозга, где указал, какие ее части контролируют какие части тела. Теперь каждый может нарисовать человеческий мозг и подписать на картинке, где находятся центры управления различными органами. Эта схема напоминает «гомункулуса» — человечка, части тела которого пропорциональны зонам мозга, в которых они представлены; поэтому у него громадные пальцы на руках, губы и язык, но крохотное тельце.

Еще позже магнитно-резонансные методы исследования позволили получить весьма информативные изображения функционирующего мозга, но даже эти методы не в состоянии отследить конкретные нейронные пути мысли, в прохождении которой задействуется, может быть, всего несколько тысяч нейронов. Но уже совсем недавно появилась новая область науки — оптогенетика, соединившая в себе возможности оптики и генетики и позволившая все же проследить конкретные нейронные пути у животных. Можно привести по этому поводу следующую аналогию. Представьте, что вы хотите составить карту дорог. В этом случае результаты магнитно-резонансных исследований можно сравнить с прибором, способным увидеть автомагистрали и крупные транспортные потоки на них. Оптогенетика, возможно, сможет различить отдельные местные дороги и даже тропинки. Не исключено даже, что она даст ученым возможность управлять поведением животных путем стимулирования конкретных нейронных маршрутов.

Эти исследования стали причиной нескольких громких журналистских сенсаций. Так, крупный новостной сайт *Drudge*

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Report поместил у себя кричащий заголовок: «Ученые создают дистанционно управляемых мух!» Средства массовой информации породили в общественном сознании образ таких мух, способных выполнить за Пентагон всю грязную работу. В телешоу *Tonight Show* Джей Лено (Jay Leno) говорил даже об управляемой мухе, которая могла бы по команде залететь в рот президенту Джорджу Бушу-младшему. Конечно, шутники вдоволь повеселились, представляя, как Пентагон одним нажатием кнопки отправляет на задание целые тучи всевозможных насекомых, но на самом деле пока все обстоит гораздо скромнее.

Мозг плодовой мушки-дрозофилы насчитывает примерно 150 000 нейронов. Оптогенетические методы позволяют ученым вызвать свечение определенных нейронов мозга дрозофилы — тех, что соответствуют определенным поведенческим шаблонам. Выяснилось, к примеру, что активация двух конкретных нейронов дает мухе сигнал улетать как можно скорее. Муха автоматически выпрямляет ножки, расправляет крылышки и взлетает. Методами генной инженерии ученые сумели получить породу дрозофил, у которых пара «тревожных» нейронов срабатывает всякий раз при включении лазера. Стоит направить на этих мух лазерный луч, как они тут же поднимаются в воздух.

Определение структуры мозга — задача огромной важности. В результате мы сможем не только потихоньку стимулировать части конкретных нейронных путей, поощряя тем самым определенные поведенческие шаблоны, но и использовать эту информацию в помощь жертвам инсультов и пациентам с заболеваниями или травмами мозга.

Геро Мизенбёк (Gero Miesenböck) из Оксфордского университета и его коллеги научились идентифицировать таким образом нейронные механизмы животных. Они могут исследовать не только тревожный рефлекс дрозофил, но и, скажем, рефлекс, задействованный в восприятии запахов. Они изучали, к примеру, пути, управляющие поиском пищи у круглых червей, изучали нейроны, участвующие в принятии решений у мышей.

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Они выяснили, в частности, что если фруктовой мушке для запуска механизма рефлекторного поведения достаточно активации всего двух нейронов, то у мыши при принятии решения задействуется уже почти 300 нейронов.

Основной инструмент оптогенетиков — гены, контролирующие производство определенных красителей и светочувствительных молекул. К примеру, у медуз имеется ген, отвечающий за производство зеленого флуоресцентного белка. Кроме того, известен целый ряд молекул, таких как родопсин, которые при воздействии света начинают пропускать ионы через клеточные мембраны. Таким образом, воздействие света на эти организмы может запускать определенные химические реакции. Вооружившись красителями и светочувствительными веществами, ученые впервые смогли выделить нейронные контуры, отвечающие за определенные схемы поведения.

Так что пусть юмористы пока смеются над учеными, которые будто бы пытаются создать мух-франкенштейнов и управлять их поведением посредством нажатия кнопки. Реальность одновременно и скромнее, и интереснее: ученым впервые в истории удалось выделить в мозгу нервные пути, отвечающие за конкретное поведение.

Моделирование мозга

Оптогенетика — всего лишь первый скромный шаг. Следующим шагом должно стать моделирование мозга целиком при помощи новейших технологических достижений. Существует по крайней мере два способа решения этой колоссальной по масштабу и значимости задачи, и любой из них потребует не одного десятилетия интенсивного труда. Первый способ состоит в применении суперкомпьютеров для имитации поведения миллиардов нейронов, каждый из которых соединен с тысячами других нервных клеток. Второй путь — определить опытным путем местонахождение каждого нейрона в мозгу.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Ключ к первому подходу — моделированию мозга — прост: все дело в «грубой» компьютерной силе. Чем мощнее станут компьютеры, тем лучше. Не исключено, что гигантскую задачу действительно удастся решить при помощи грубой силы и далеких от элегантности теорий. В данный момент совершение этого поистине геркулесова подвига возложено на компьютер под названием Blue Gene, разработанный фирмой IBM, — один из самых мощных компьютеров на Земле.

Я имел возможность увидеть этот чудовищный компьютер во время визита в Ливерморскую национальную лабораторию в Калифорнии, где разрабатывают водородные боеголовки для Пентагона. Это важнейшая из американских секретных военных лабораторий — обширный комплекс площадью 320 га в центре огромного массива сельскохозяйственных земель; бюджет лаборатории, где работает 6800 человек, составляет 1,2 млрд долларов в год. Это сердце комплекса ядерных вооружений США. Чтобы попасть внутрь, мне пришлось пройти через многослойную систему охраны — ведь это одна из серьезнейших военных лабораторий в мире.

В конце концов, после прохождения нескольких блокпостов, меня допустили в здание, где располагается компьютер Blue Gene фирмы IBM, способный производить вычисления с умопомрачительной скоростью 500 триллионов операций в секунду. Blue Gene представляет собой выдающееся зрелище. Этот монстр занимает площадь около 1000 кв. м и состоит из множества черных как смоль стальных шкафов около 2,5 м высотой и 4,5 м длиной. Шкафы выстроены бесконечными рядами и образуют настоящий лабиринт.

Кстати говоря, прогулка среди этих черных шкафов производит странное впечатление. Если в голливудских научно-фантастических фильмах у компьютеров непременно мигают какие-то лампочки, крутятся диски, трещат и сверкают электрические разряды, то здесь совершенно тихо, лишь кое-где изредка вспыхивают крохотные огоньки. Вы понимаете, что компьютер

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

вокруг вас производит триллионы сложнейших вычислений, но ничего не слышите и не видите во время его работы.

Меня особенно заинтересовал тот факт, что Blue Gene, помимо всего прочего, занимается моделированием мыслительных процессов в мозгу мыши. Мозг этого зверька содержит всего лишь около двух миллионов нервных клеток (сравните со 100 миллиардами нейронов нашего мозга). Однако смоделировать мыслительные процессы в мозгу мыши труднее, чем кажется, потому что каждый нейрон связан со множеством других нейронов и вместе они образуют густую нейронную сеть. Но я гулял между бесконечными рядами консолей, из которых состоит Blue Gene, и с изумлением думал о том, что всей невероятной вычислительной мощи этого уникального компьютера хватает только на то, чтобы смоделировать работу мозга мыши, — и то лишь в течение нескольких секунд. (Это не означает, что Blue Gene способен смоделировать поведение мыши. В этом плане ученые пока добрались только до таракана, и то едва-едва. Когда мы говорим о моделировании мыслительных процессов в мозгу животного, мы подразумеваем, что компьютер моделирует срабатывание нейронов мозга, а не поведение мыши.)

На самом деле моделированием мозга мыши занимается сразу несколько групп ученых. В частности, такая попытка осуществляется в швейцарской Федеральной политехнической школе Лозанны; это амбициозный проект Генри Маркрама (Henry Markram) Blue Brain. Проект стартовал в 2005 г., когда исследователям удалось получить небольшой вариант компьютера Blue Gene всего с 16 000 процессоров; тем не менее в течение года команде Маркрама удалось создать модель неокортикальной колонки мозга крысы — части так называемой новой коры (неокортекса), содержащей 10 000 нейронов и 100 млн связей. Эта работа стала важной вехой, поскольку доказывала принципиальную возможность комплексного анализа структуры важной составной части мозга, нейрон за нейроном. (В мозгу мыши миллионы таких колонок, этот структурный элемент повторен

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

множественно. Таким образом, модель даже одной колонки помогает понять, как работает мозг в целом.)

В 2009 г. Маркрам оптимистично заявил: «Построить модель человеческого мозга вполне возможно, и мы в состоянии сделать это лет за десять. Если мы сделаем все правильно, она будет говорить, обладать интеллектом и вести себя совершенно как человек». Однако при этом он предупреждает, что для создания такой модели потребуется суперкомпьютер, в 20 000 раз более мощный, чем современные суперкомпьютеры, и с памятью, в 500 раз превосходящей по объему нынешний Интернет.

Так что же мешает ученым достичь этой колоссальной цели? Для Маркрама все просто: нет денег.

Ему кажется, что, поскольку базовые научные принципы моделирования мозга уже ясны, для успеха нужно просто вложить в проект достаточно денег. Он говорит: «Речь идет не о годах, а о долларах... Вопрос в том, хочет ли этого общество. Если модель нужна через десять лет, они получают ее через десять лет. Если она нужна через тысячу лет, мы можем подождать».

Однако этой проблемой, помимо Маркрама, занимается еще одна группа ученых, которой удалось получить в свое распоряжение величайшие компьютерные мощности в истории. Эта группа работает с наиболее продвинутой версией Blue Gene, получившей название Dawn; она также находится в Ливерморе. Dawn — поистине впечатляющее зрелище; в нем 147 456 процессоров и 150 000 гигабайт памяти. Он примерно в 100 000 раз мощнее вашего настольного компьютера. На счету этой группы, которую возглавляет Дхармендра Модха (Dharmendra Modha), уже имеется несколько серьезных успехов. В 2006 г. она была в состоянии смоделировать 40% мышинного мозга, а в 2007-м — уже 100% крысиного (в мозге крысы около 55 млн нейронов, что гораздо больше, чем у мыши).

В 2009 г. группа преодолела еще один рубеж и превзошла прежний мировой рекорд. Ей удалось смоделировать 1% коры головного мозга человека, или приблизительно весь объем коры

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

головного мозга кошки, — 1,6 млрд нейронов и 9 трлн связей. Однако моделирование шло медленно, скорость работы модели примерно в 600 раз уступала скорости работы реального мозга. (Если модель охватывала только 1 млрд нейронов, она работала намного быстрее, всего в 83 раза медленнее, чем мозг.)

«Это можно сравнить с телескопом Хаббла для сознания или с линейным ускорителем для мозга, — гордо говорит Модха, имея в виду научный масштаб этого достижения. Поскольку мозг содержит 100 млрд нейронов, моделирование даже одного миллиарда позволяет увидеть свет в конце туннеля. Ученые уверены, что полная модель человеческого мозга уже не за горами. — Это не просто возможно, это неизбежно. Так будет!»

Однако моделирование человеческого мозга целиком до сих пор представляет серьезные проблемы, особенно в плане энергии и отвода тепла. Компьютер Dawn потребляет 1 МВт энергии и выделяет столько тепла, что только на его охлаждение работает 6675 т кондиционирующего оборудования, вырабатывающего 76 тыс. м³ охлажденного воздуха в минуту. Для моделирования человеческого мозга целиком все эти числа придется умножить еще на 1000.

Задача воистину монументальная. Энергопотребление гипотетического суперкомпьютера составило бы 1 ГВт, что соответствует типовой мощности одного энергоблока атомной станции. Этой энергией можно было бы осветить и обогреть крупный город! Для охлаждения этого суперкомпьютера потребовалось бы отвести целую реку и пропустить ее воды через компьютер. А сам компьютер занял бы не один городской квартал.

Поразительно, но человеческий мозг потребляет всего 20 Вт. Выделяемое им тепло почти незаметно, и все же мозг с легкостью оставляет позади совершеннейшие суперкомпьютеры. Более того, человеческий мозг — самое сложное творение матери-природы в этой части Галактики. У нас нет до сих пор никаких данных о присутствии в Солнечной системе других форм разумной жизни, а значит, до ближайшего объекта, сравнимого

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

по сложности с содержимым вашего черепа, от Земли не менее 40 трлн км (расстояние до ближайшей звезды), а скорее гораздо больше.

Не исключено, что нам действительно удалось бы провести реверсивное проектирование мозга за десять лет, но лишь при условии неограниченного финансирования и национальной ударной программы — что-нибудь вроде Манхэттенского проекта. Однако, учитывая общий экономический климат, в ближайшее время таких вложений вряд ли стоит ожидать. Отметим, что правительство США в последние годы поддерживало несколько серьезных приоритетных проектов, таких как «Геном человека», который обошелся почти в три миллиарда долларов, но лишь потому, что они обещали очевидные научные и медицинские выгоды. Выгоды проекта моделирования мозга не столь очевидны, поэтому времени на него уйдет гораздо больше. Более реалистично, наверное, предположить, что мы будем двигаться к цели маленькими шажками и до исторического момента, когда полная модель будет наконец создана, пройдет еще не один десяток лет.

Так что компьютерное моделирование мозга протянется, вероятно, до середины века. И даже после завершения проекта понадобится еще несколько десятков лет, чтобы разобраться в горах полученной информации и соотнести ее с реальным человеческим мозгом. Мало того что мы утонем в данных, у нас к тому же не будет средств, которые позволили бы надежно отфильтровать шум и отделить полезную информацию от случайной.

Разборка мозга

Но как же второй подход, о котором шла речь, — определение точного местоположения каждого нейрона?

Этот подход также ставит перед учеными задачу, достойную Геракла, и скорее всего означает десятилетия тщательных ис-

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

следований. Вместо суперкомпьютеров вроде Blue Gene ученые, выбравшие такой подход, пользуются методом последовательного анализа. Для начала они препарируют мозг дрозофилы, разрезая его на тончайшие ломтики толщиной не более 50 нм (около 150 атомов). Получаются миллионы ломтиков, каждый из которых фотографируется при помощи сканирующего электронного микроскопа, скорость и разрешение которого приближаются к миллиарду точек в секунду. Электронный микроскоп выдает на-гора невероятное количество данных — около 1000 трлн байт; этого достаточно, чтобы наполнить носителями информации целую комнату. И все это — для описания мозга одной-единственной плодовой мушки! Затем приходит черед обработки данных и тщательного, скрупулезного восстановления трехмерных связей каждого нейрона; на это уходит около пяти лет. А для получения более точной картины мушиного мозга придется разделить и исследовать мозг не одного десятка особей.

Джерри Рубин (Gerry Rubin) из Медицинского института Говарда Хьюза, один из лидеров в этой области исследований, считает, что на составление полной, точной и подробной карты мозга дрозофилы уйдет 20 лет. «Я бы сказал, что, когда эта задача будет решена, мы пройдем пятую часть пути к пониманию человеческого мозга», — заключает он. Рубин понимает всю масштабность и сложность стоящей перед ним задачи. Человеческий мозг имеет в миллион раз больше нейронов, чем мозг дрозофилы. И если на регистрацию каждого нейрона мушиного мозга уйдет 20 лет, то на установление полной нейронной архитектуры человеческого мозга наверняка понадобится еще не одно и не два десятилетия. Стоить этот проект тоже будет громадных денег.

Итак, мы видим, что все участники процесса инженерного анализа мозга пока находятся в сложном положении. Они видят и ясно различают цель, представляют, как можно ее достичь, но отсутствие денег не позволяет им работать в полную силу. Можно с достаточной долей уверенности предположить, что где-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

нибудь к середине века у нас появятся достаточно мощные компьютеры, на которых можно будет смоделировать человеческий мозг, а также грубые приблизительные карты нейронной архитектуры мозга. Однако на полное понимание механизма мышления или на создание машины, способной дублировать функции человеческого мозга, не приходится рассчитывать раньше самого конца XXI в.

Приведем пример. Получив карту точного расположения каждого гена в теле муравья, вы не узнаете, как строится муравейник. Точно так же сам по себе факт, что ученые теперь знают все 25 000 генов, которые составляют геном человека, не означает, что они поняли, как работает человеческое тело. Вообще, проект «Геном человека» напоминает толковый словарь, в котором нет определения слов. Каждый ген в теле человека четко расшифрован и расписан по буквам, но что каждый из них делает, по-прежнему в значительной степени остается загадкой. В каждом гене закодирована структура определенного белка, но неизвестно, как большинство этих белков функционирует в организме.

Еще в 1986 г. ученые смогли составить полную карту расположения всех нейронов в нервной системе крохотного червячка *C. elegans*. Первоначально это достижение было объявлено прорывом и ключом к раскрытию загадки мозга. Однако знание точного расположения 302 нервных клеток и 6000 химических синапсов даже сейчас, спустя несколько десятилетий, не дает ученым ничего нового для понимания физиологии червя.

Точно так же даже после создания полной и точной модели человеческого мозга пройдет не один десяток лет, прежде чем мы сможем понять, как работают и взаимодействуют между собой все его части. Если удастся все же завершить реверсивное проектирование и полную расшифровку структуры мозга к концу столетия, это будет означать, что сделан громадный шаг к созданию человекоподобных роботов. Что тогда помешает им захватить власть?

ОТДАЛЕННОЕ БУДУЩЕЕ (2070–2100 гг.)

Когда машины обретут сознание

В фильмах про Терминатора рассказывается о том, как Пентагон построил и с гордостью запустил в действие Skynet — громадную сверхзащищенную компьютерную сеть, предназначенную для управления ядерным арсеналом США. Эта сеть безупречно исполняла свои обязанности до тех пор, пока однажды, в 1995 г., неожиданно не произошло что-то очень странное. Суперкомпьютер Skynet осознал себя. Люди, работавшие с сетью, с изумлением поняли, что их детище внезапно обрело разум, и попытались выключить его, но опоздали. Защищая себя, Skynet решил, что единственный способ обеспечить собственную безопасность — это уничтожить человечество. Для этого он начал разрушительную ядерную войну. Вскоре три миллиарда людей сгорели в пламени бесчисленных ядерных взрывов. После этого Skynet выпустил в мир легионы роботов-убийц, целью которых было уничтожение оставшихся. Современная цивилизация рухнула, оставив после себя лишь крошечные жалкие шайки бандитов и бунтарей.

А в трилогии «Матрица» люди показаны настолько примитивными, что даже не понимают: машины уже захватили мир. Люди занимаются повседневными делами, думают, что все нормально, и не замечают, что на самом деле живут в коконах. Их мир — всего лишь модель виртуальной реальности, которой управляют хозяева-роботы. Человеческое «существование» — всего лишь компьютерная программа, выполняемая большим компьютером; данные с нее поступают непосредственно в мозг людей, живущих в этих коконах. Единственная причина, по которой машины вообще терпят присутствие людей, — тот факт, что их можно использовать как источники питания.

Конечно, задача Голливуда — напугать аудиторию до полу-смерти. Но сюжеты этих и других фильмов поднимают законный научный вопрос: что произойдет, когда роботы наконец станут

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

умнее нас? Что произойдет, когда роботы проснутся и осознают себя? Ученые активно обсуждают вопрос, что будет — причем не *если*, а *когда* произойдет это знаменательное событие.

Некоторые эксперты утверждают, что наши создания-роботы будут постепенно подниматься по эволюционному древу. Сегодня они сравнимы по интеллекту с тараканами. В будущем они вырастут и сравняются с мышами, кроликами, собаками и кошками, обезьянами, а затем станут соперничать с человеком. На медленное преодоление этого пути могут уйти десятилетия, но ученые верят, что это всего лишь вопрос времени и когда-нибудь машины обязательно превзойдут нас разумом.

Исследователи ИИ расходятся в вопросе о том, когда это может произойти. Некоторые говорят, что не позже чем через двадцать лет роботы приблизятся по разумности к человеческому мозгу, а затем оставят своих создателей далеко позади. В 1993 г. Вернор Виндж (Vernor Vinge) сказал: «Не пройдет и тридцати лет, как у нас появится техническая возможность создать сверхчеловеческий разум. Вскоре после этого эра человека закончится... Я буду удивлен, если это событие произойдет раньше 2005-го или позже 2030 г.»

С другой стороны, Дуглас Хофштадтер (Douglas Hofstadter), автор книги «Гёдель, Эшер, Бах», говорит: «Я буду очень удивлен, если что-нибудь хотя бы отдаленно похожее произойдет в ближайшие 100–200 лет».

Когда я разговаривал с Марвином Мински из MIT — одной из основополагающих фигур в истории искусственного интеллекта, он заметил, что не назначает сроков для этого события и не может сказать, когда именно оно произойдет. Он уверен, что такой день наступит, но категорически отказывается выступать в роли пророка и предсказывать точную дату. (Возможно, будучи мэтром ИИ — области науки, в создании которой он участвовал практически с нуля, Мински видел слишком много несбывшихся прогнозов, породивших к тому же обратную реакцию.)

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Немалую часть проблемы с датами и сценариями составляет тот факт, что общепринятого представления о том, что такое *сознание*, просто не существует. Философы и математики бьются над этим вопросом не одно столетие, а воз и ныне там. Мыслитель XVII в. Готфрид Лейбниц, изобретатель интегрального исчисления, однажды написал: «Даже если бы можно было увеличить мозг до размеров ветряной мельницы и побродить внутри, никакого сознания мы бы там не нашли». Философ Дэвид Чалмерс составил список из почти 20 000 научных работ, написанных на эту тему, и не обнаружил у авторов какого бы то ни было единого мнения.

Нигде в науке столь громадные усилия множества людей не дали столь ничтожного результата.

Слово *сознание*, к сожалению, относится к тем громким и красивым словам, которые для разных людей означают разное. Как ни печально, общепринятого определения этого понятия не существует.

Лично я думаю, что неспособность четко определить сознание, а также измерить его количественно — это одна из серьезных проблем науки, занятой созданием искусственного интеллекта.

Но если бы мне предложили попробовать самому, я начал бы с того, что сознание включает в себя по крайней мере три основных компонента:

- 1) восприятие и распознавание окружающего мира;
- 2) самоанализ;
- 3) планирование будущего, постановку целей и составление планов, т. е. моделирование будущего и выбор стратегии.

При таком подходе можно сказать, что даже простые механизмы и насекомые обладают какой-то формой сознания, которую можно оценить численно по шкале от 1 до 10. Суще-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

ствует целое пространство сознания, которое можно представить в количественной форме. Молоток не способен воспринимать окружающий мир, так что его сознание можно оценить как 0 по принятой нами шкале. Однако термостат, к примеру, уже способен воспринимать и оценивать окружающую действительность. Суть термостата в том, что он чувствует температуру окружающей среды и действует в соответствии с ней, при этом изменяя ее; сознание термостата можно оценить уровнем 1. Следовательно, любые механизмы с обратной связью обладают примитивной формой сознания. Черви тоже способны воспринимать окружающий мир. Они чувствуют присутствие пищи, партнера, а также опасности и действуют в соответствии с полученной информацией, но больше не могут почти ничего. Насекомые воспринимают мир несколькими органами чувств (к примеру, зрение, слух, нюх, датчик давления и т. п.) и достойны более высокой численной оценки; их сознание следует оценить, возможно, в 2 или 3.

Высшей формой восприятия действительности должна быть способность распознавать и понимать объекты окружающего мира. Человек в состоянии мгновенно оценить обстановку и действовать в соответствии с ней — а значит, его сознание достойно высокой оценки по нашей шкале. Однако именно здесь роботы не в состоянии составить нам серьезную конкуренцию. Распознавание образов, как мы уже видели, — один из принципиальных рубежей на пути к искусственному интеллекту и одновременно одно из серьезнейших препятствий. Роботы способны воспринимать окружающий мир гораздо лучше людей, но они не понимают и не узнают то, что видят. Из-за неспособности распознавать образы роботы на шкале сознания оказываются на самых нижних ступеньках, где-то рядом с насекомыми.

Следующий, более высокий уровень сознания связан с самоанализом. Если поставить зеркало почти перед любым животным мужского пола, реакция будет немедленной и довольно резкой: самцы проявляют откровенную агрессивность, иногда

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

даже нападают на зеркало. Изображение заставляет животное-самца защищать свою территорию. Многие животные не признают себя — и, соответственно, не узнают себя в зеркале. Однако обезьяны, слоны, дельфины и некоторые птицы быстро понимают, что отражение в зеркале — это они сами, и прекращают бессмысленные атаки. Человек близок к верхней планке этой шкалы, поскольку обладает высокоразвитым самосознанием и прекрасно понимает, кем он является по отношению к другим животным, другим людям и миру в целом. Мало того, человек настолько осознает себя, что способен вести внутренний диалог с самим собой, а значит, мысленно оценивать ситуацию.

Наконец, животных можно оценить по их способности планировать будущее. Насекомые, насколько нам известно, не ставят перед собой сложных целей. Напротив, они по большей части реагируют на окружающую обстановку непосредственно, шаг за шагом, и полагаются целиком на инстинкты и сиюминутные внешние раздражители.

В этом смысле хищники по уровню сознания стоят выше, чем их жертвы. Хищникам приходится кое-что планировать заранее: подыскивать место для логова, планировать засаду, выслеживать, предугадывать действия добычи. Добыче же, как правило, достаточно просто убежать, и побыстрее, так что ее сознание следует оценивать ниже.

Далее, приматы способны импровизировать, составляя планы на ближайшее будущее. Если показать человекообразной обезьяне банан, который находится рядом, но вне пределов досягаемости, она может изобрести какой-нибудь способ достать банан; к примеру, воспользоваться палкой. Так что, имея перед собой конкретную цель (достать пищу), приматы планируют ближайшее будущее так, чтобы достичь этой цели.

Однако в целом животные не обладают развитым чувством отдаленного прошлого или будущего. Очевидно, в животном царстве не бывает завтрашнего дня. Нет никаких свидетельств того, что животные могут планировать будущее на несколько

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

дней вперед. (В преддверии зимы многие животные запасают пищу, но такое поведение запрограммировано генетически: гены заставляют их реагировать на снижение температуры усиленными поисками еды.)

Зато человек обладает прекрасно развитым чувством будущего и постоянно составляет планы. В голове каждый из нас непрерывно моделирует будущую реальность. Мы способны составлять планы, которые простираются далеко за пределы нашей собственной жизни. Более того, мы оцениваем других людей по их способности верно предугадать развитие ситуации и сформулировать конкретную стратегию поведения на этот случай. Умение предсказать будущее, взвесить возможные последствия и сформулировать конкретные цели с учетом всех обстоятельств — важная часть способности к лидерству.

Иными словами, эта форма сознания включает в себя предвидение будущего, т. е. создание многочисленных моделей, аппроксимирующих будущие события. Для этого необходимо великолепное владение принципами здравого смысла и законами природы. Вы должны постоянно задавать себе вопрос: «Что будет, если?..» Не важно, что вы планируете сделать — ограбить банк или избраться в президенты; чтобы спланировать задуманное, вам все равно придется строить в голове многочисленные модели возможного будущего.

Все данные указывают на то, что на Земле этим искусством овладел пока только человек.

В этом можно убедиться, в частности, при анализе психологических профилей. Специалисты часто сравнивают психологические профили взрослых с их же профилями, полученными, когда они были детьми. Затем задается вопрос: какое качество в профиле ребенка могло указать на будущий успешный брак, успешную карьеру, богатство и т. п.? Если исключить из картины социоэкономические факторы, обнаруживается, что нередко в профиле одна характеристика выделяется среди остальных: способность откладывать удовольствие. Согласно многолетним

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

исследованиям Уолтера Мишеля (Walter Mischel) из Колумбийского университета и многих других ученых, дети, способные воздержаться от немедленного получения удовольствия (к примеру, не съесть сразу же полученную палочку пастилы) и дождаться обещанной более высокой награды (скажем, двух палочек пастилы вместо одной), позже стабильно добиваются более высоких результатов едва ли не во всех мыслимых областях жизни: в учебе, в любви и в карьере.

Следует заметить, что способность отложить удовольствие указывает на более высокий уровень самоанализа и сознания. Такие дети умеют моделировать будущее и способны понять, что это будущее обещает больше. Для того чтобы видеть возможные последствия собственных действий, требуется более высокий уровень сознания.

Таким образом, исследователи ИИ должны стремиться к созданию робота, обладающего всеми тремя рассмотренными качествами. Первое труднодостижимо, поскольку роботы могут воспринимать окружающий мир, но не способны разобраться в нем. Самоанализ — более простая цель. А вот для планирования будущего необходим здравый смысл, интуитивное понимание, что возможно и что невозможно, а также конкретные стратегии достижения конкретных целей.

Мы видим, что здравый смысл — необходимая предпосылка для высшего уровня сознания. Чтобы робот мог моделировать реальность и предугадывать будущее, он должен сначала освоить миллионы закономерностей окружающего мира, составляющие так называемый житейский здравый смысл. Но одного этого недостаточно. Здравый смысл — это всего лишь «правила игры», а вовсе не законы стратегии и планирования.

Мы получили шкалу, по которой можно оценить всех существующих на настоящий момент роботов.

Ясно, что Deep Blue, машина-шахматист, окажется на этой шкале очень низко. Она, конечно, может выиграть у чемпиона мира по шахматам — и только. Она способна моделировать

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

реальность, но лишь в рамках шахматных правил. Моделировать какую бы то ни было иную реальность она не в состоянии. То же можно сказать о большинстве крупнейших компьютеров мира. Они великолепно моделируют один из аспектов реальности — к примеру, атомный взрыв, обтекание воздухом летательного аппарата или погоду. Эти компьютеры просчитывают сложнейшие модели гораздо лучше человека. Но при этом они очень одномерны, а потому не имеют шансов на выживание в реальном мире.

Сегодня исследователи ИИ не представляют, как можно воспроизвести в роботе процессы мышления. Большинство ученых просто поднимает руки и говорит, что как-нибудь громадные сети компьютеров сами выдадут «системные эффекты», так же как иногда из хаоса спонтанно возникает порядок. Если же прямо спросить, как именно эти системные эффекты приведут к возникновению сознания, большинство пожимает плечами и закатывает глаза.

Мы не знаем, как сделать робота, который обладал бы сознанием, но вообразить робота, который превзошел бы нас, мы в состоянии. Для оценки уровня сознания воспользуемся всем уже сказанным.

Такой робот должен великолепно проявлять себя в третьем качестве: он сможет гораздо лучше, чем мы, производить сложнейшие расчеты и моделирование будущего; он сможет рассмотреть больше вариантов, под разными углами, более подробно и глубоко. Его модели будут более точными, чем наши, потому что он будет лучше владеть здравым смыслом и законами природы, а потому лучше видеть закономерности. Он научится замечать проблемы, которые человек мог бы недооценить или просто не заметить. Более того, он научится ставить перед собой собственные цели. Если роботы поставят себе цель, в частности, помогать роду человеческому, все в порядке. Но если однажды окажется, что человечество мешает достижению какой-то их цели, последствия могут быть весьма неприятными.

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Все это порождает следующий вопрос: что станет с человечеством, если будет реализован второй сценарий?

Когда роботы превзойдут людей

В одном сценарии нас, ничтожных человечков, просто отодвигают в сторону как пережиток эволюции. Более приспособленные виды развиваются и сменяют менее приспособленные — это закон эволюции. Возможно, существование человечества на этом закончится и последние люди будут доживать свой век в зоопарках под любопытными взглядами наших творений-роботов. Возможно, такова наша судьба: дать жизнь суперроботам, которые затем будут относиться к нам как к чудовищно примитивной и не слишком существенной главе своей эволюции. Может быть, в этом и состоит наша историческая роль — породить тех, кто сменит нас на пути эволюции. В этом сценарии нашей задачей будет побыстрее уйти с пути разумных роботов.

Дуглас Хофштадтер признался мне, что, возможно, таков естественный порядок вещей, но мы должны относиться к этим сверхразумным роботам как к собственным детям — ведь они и впрямь наши дети в каком-то смысле. Если человек может заботиться о своих детях, сказал он мне, то почему он не может так же заботиться и о разумных роботах, которые тоже являются нашими детьми?

Ганс Моравек представляет, как может чувствовать себя человек, которого обошли и оставили далеко позади роботы: «...жизнь может показаться бессмысленной, если нам суждено будет провести ее за глупым разглядыванием нашего сверхразумного потомства, в то время как они будут пытаться растолковать нам свои все более впечатляющие достижения упрощенным языком, чтобы мы могли понять».

Если настанет наконец судьбоносный день, когда роботы обойдут нас разумом, мы не только перестанем быть самыми разумными существами на Земле; наши создания смогут

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

изготовить собственные копии и даже улучшить их, так что «дети» будут умнее «родителей». Эта армия самовоспроизводящихся роботов положит начало бесконечному ряду будущих поколений, причем каждое следующее будет умнее предыдущего. А поскольку теоретически роботы смогут создавать следующие поколения очень быстро, со временем этот процесс вплотную подойдет к экспоненциальному взрыву, и бесчисленные роботы в своем ненасытном стремлении к разумности начнут истощать ресурсы планеты.

В одном из возможных сценариев этот ненасытный аппетит ко все более высокому интеллекту со временем истощит все ресурсы планеты и Земля целиком превратится в компьютер. Некоторые считают, что сверхразумные роботы отправятся с Земли к звездам, чтобы там продолжить свой бесконечный квест; они доберутся до других планет, звезд и галактик и попытаются превратить в компьютеры и их. Но поскольку планеты, звезды и галактики находятся от нас невероятно далеко, Земля-компьютер, возможно, сумеет изменить законы природы, так чтобы можно было путешествовать быстрее скорости света и поглощать целые звездные системы и галактики. Некоторые даже верят, что в конце концов этот сверхкомпьютер сможет поглотить всю Вселенную, так что Вселенная тоже станет разумной.

Получается сингулярность. Слово это первоначально пришло из мира релятивистской физики — моей научной специализации, где сингулярность представляет собой точку с бесконечной гравитацией, откуда ничто не может улететь, такую как черная дыра. Поскольку свет тоже не может оттуда улететь, увидеть что-либо за этим горизонтом не представляется возможным.

Идея ИИ-сингулярности впервые была высказана в 1958 г. в беседе между двумя математиками, Станиславом Уламом (которому довелось сделать ключевой шаг в разработке водородной бомбы) и Джоном фон Нейманом. Улам писал: «Один из раз-

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

говоров крутился вокруг все ускоряющегося технического прогресса и изменений в образе жизни людей, по которым похоже, что приближается некая важная сингулярность в истории человеческого рода, после которой дела человечества, какими мы их знаем, не смогут продолжаться». Различные варианты этой идеи витали в воздухе уже несколько десятков лет. Но именно тогда ее подхватил, усилил и популяризовал в своих романах и эссе писатель-фантаст и математик Вернор Виндж.

Но все это не дает ответа на главный вопрос: когда наступит эта сингулярность? При нашей жизни? Может быть, в следующем столетии? Или никогда? Можно вспомнить, что участники Азиломарской конференции 2009 г. решили: до этого знаменательного момента может пройти от 20 до 1000 лет.

Есть человек, которого в настоящее время можно, пожалуй, назвать выразителем идей сингулярности. Это изобретатель и автор бестселлеров Рей Курцвейл; он очень любит делать предсказания, основанные на экспоненциальном развитии техники. Курцвейл однажды сказал мне, что при взгляде ночью на далекие звезды, по идее, там можно отыскать какие-то космические свидетельства подобной же сингулярности, имеющей место в далекой-далекой галактике. Если эта стремительно расширяющаяся сингулярность обладает способностью пожирать или переделывать целые звездные системы, следы ее деятельности должны оставаться и быть заметны. (Его противники говорят, что он поднимает вокруг пресловутой сингулярности едва ли не религиозный шум. Однако сторонники возражают, что Курцвейл, судя по его послужному списку, обладает необычайной способностью верно предугадывать будущее.)

Курцвейл всерьез столкнулся с компьютерной революцией, когда основал несколько компаний в разных областях, имеющих отношение к распознаванию образов; речь шла о технологиях распознавания речи, оптического распознавания символов и о разработке электронных клавишных музыкальных инструментов. В 1999 г. он написал бестселлер «Эпоха духовных

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

машин: когда компьютеры превзойдут интеллектом человека», в котором предсказал дату этого события. В 2005 г. он написал книгу «Сингулярность уже близка», в которой изложил свои предсказания более подробно. Путь к знаменательному дню, когда компьютеры превзойдут человека в разумности, будет состоять из нескольких этапов.

К 2019 г., предсказывает он, персональный компьютер стоимостью в 1000 долларов по чистой вычислительной мощности сравняется с человеческим мозгом. Вскоре после этого компьютеры оставят нас далеко позади. К 2029 г. тот же персональный компьютер стоимостью в 1000 долларов будет уже в 1000 раз мощнее человеческого мозга. К 2045 г. все тот же ПК за 1000 долларов будет обладать в миллиард раз более мощным интеллектом, чем все человечество, вместе взятое. Способности даже небольших компьютеров будут намного превосходить способности всего рода человеческого.

После 2045 г. компьютеры станут настолько продвинутыми, что смогут производить собственные копии в еще более продвинутом варианте, открывая тем самым путь к технологической сингулярности. Стремясь удовлетворить эту нескончаемую и ненасытную жажду компьютерной мощности, они начнут поглощать Землю, астероиды, планеты и звезды и смогут даже повлиять на космологическую историю нашей Вселенной.

Мне довелось побывать в гостях у Курцвейла в его офисе в пригороде Бостона. Проходя по коридору, вы видите на стенах дипломы полученных им премий и наград, а также некоторые из разработанных им музыкальных инструментов, которыми пользуются лучшие музыканты, такие как Стиви Уандер. Курцвейл рассказал мне, что в его жизни был поворотный момент. В 35 лет ему неожиданно поставили очень неприятный диагноз: диабет II типа. Внезапно он, что называется, упал с небес на землю и понял, что может не дожить до исполнения собственных пророчеств. После многих лет небрежения тело его состарилось до срока. Курцвейл был потрясен диагнозом, но рук не опустил.

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Он подошел к вопросу собственного здоровья с теми же энтузиазмом и энергией, с какими относился к компьютерной революции. (Сегодня он принимает в день более 100 таблеток и написал несколько книг о революции в деле продления жизни. Он считает, что революция в создании микроскопических роботов приведет к появлению средств очистки и ремонта человеческого тела, которые позволят ему жить вечно. Его философия состоит в том, что он хотел бы прожить достаточно, чтобы увидеть революционные медицинские новинки, которые позволят продлить жизнь до бесконечности. Иными словами, он хочет прожить достаточно долго, чтобы жить вечно.)

Недавно он пустился в амбициозный проект по организации университета сингулярности при Исследовательском центре NASA имени Эймса в районе Сан-Франциско, который будет готовить ученых к близкому наступлению технологической сингулярности.

Вообще, существует множество вариаций и комбинаций этих тем.

Сам Курцвейл считает: «Это не будет вторжение разумных машин откуда-то из-за горизонта. Мы и сами сольемся с этой технологией... Мы поместим эти умные устройства в наши тела и мозг, чтобы жить дольше и счастливее».

Любая противоречивая идея — а идея технологической сингулярности, согласитесь, весьма противоречива — обязательно порождает обратную реакцию. Митч Капор (Mitch Capor), основатель Lotus Development Corporation, говорит, что сингулярность — это своего рода «разумный замысел для людей с коэффициентом интеллекта 140... Утверждение о том, что мы приближаемся к моменту, когда все изменится, станет просто невообразимо не так, как сейчас, — это в основе своей, на мой взгляд, проявление религиозного импульса. И никакое размахивание руками не может заслонить от меня этот факт».

Дуглас Хофштадтер сказал: «Это как если бы вы взяли много хорошей еды и немного собачьего дерьма и смешали бы все

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

вместе, так чтобы невозможно было разобраться, что хорошо и что плохо. Это почти однородная смесь чепухи и отличных идей, и очень трудно различить, где что, потому что говорят об этом умные люди; они не глупы».

Никто не знает, чем все это обернется. Но мне лично наиболее вероятным представляется следующий сценарий.

Наиболее вероятный сценарий: дружественный ИИ

Во-первых, ученые, вероятно, примут некоторые простые меры к тому, чтобы роботы не были опасны. В качестве минимальной меры в мозг робота можно поместить специальный чип, который будет автоматически выключать своего носителя при возникновении у него мыслей об убийстве людей. При таком подходе все разумные роботы будут снабжены отказоустойчивым механизмом, который любой человек сможет в любой момент включить, особенно если робот вдруг начнет вести себя неправильно. При малейшем намеке на неисправность и сбой в функционировании робота любая голосовая команда немедленно выключит его.

Или можно создать специальных роботов-охотников, обязанностью которых будет нейтрализация роботов с отклонениями в поведении. Роботы-охотники будут превосходить обычных роботов по скорости, силе и координации и смогут без труда захватывать девиантных роботов. В их схему будет заложено понимание слабых мест любой автоматической системы, любого робота, а также принципы их поведения в определенных обстоятельствах. Охотником на сбойных роботов может стать и человек. В фильме «Бегущий по лезвию бритвы» был показан отряд особо тренированных агентов, в который входил и главный герой в исполнении Харрисона Форда; эти агенты владели специальными техниками, необходимыми для выявления и нейтрализации роботов-преступников.

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

На постепенное восхождение роботов по эволюционной лестнице разума уйдет много десятилетий тяжелой работы, поэтому появление разумных роботов не станет внезапным. Человечество невозможно будет захватить врасплох и сразу же загнать в зоопарки, как зверей. Сознание, в моем понимании, — это скорее процесс, ход которого можно оценивать, а не внезапное эволюционное событие, и восхождение роботов по шкале сознания будет идти медленно и постепенно и займет не один десяток лет. В конце концов, на развитие человеческого сознания у матери-природы ушли миллионы лет. Так что для человека не станет неожиданностью, когда Интернет внезапно «проснется» или роботы ни с того ни с сего начнут самостоятельно планировать собственное будущее.

Именно такой подход предпочитал писатель-фантаст Айзек Азимов. В его произведениях каждому роботу еще на заводе намертво встраивали в сознание три непреложных закона, не позволявших им выйти из-под контроля. Цель знаменитых трех законов робототехники, придуманных им, состояла в том, чтобы не дать роботам нанести вред человеку или себе самим. (Если очень коротко, эти три закона гласят, что робот не может нанести вред человеку, что он должен повиноваться человеку и что он должен заботиться о себе, именно в этом порядке.)

(Даже азимовские законы не избавляют от проблем в тех случаях, когда ситуация порождает противоречие между тремя законами. Представьте, к примеру, что кому-то удалось создать благожелательного робота. Что произойдет, если человечество вдруг сделает губительный выбор и поставит под угрозу собственное существование? Дружественный робот может решить, что необходимо взять под контроль правительство и не дать человеку нанести себе вред. Именно с этой проблемой столкнулся Уилл Смит в кинофильме «Я, робот», когда центральный компьютер решил, что для спасения человечества «некоторыми людьми необходимо пожертвовать, а от некоторых свобод отказаться». Чтобы не позволить роботам поработить челове-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

чество и спасти его, некоторые предлагают дополнить законы робототехники еще одним, нулевым законом: робот не может нанести вред человечеству или поработить его.)

Однако многие ученые склоняются к варианту так называемого «дружественного ИИ», при котором подразумевается, что человек с самого начала делает роботов доброжелательными созданиями. Поскольку именно мы — создатели роботов и именно мы будем их разрабатывать, ничто не мешает нам сделать так, чтобы роботы с самого начала занимались только полезными и добрыми делами.

Понятие «дружественный ИИ» или «дружественный сверхразум» ввел в обращение Элиезер Юдковский (Eliezer Yudkowsky), один из основателей Института сингулярности по искусственному интеллекту. Дружественный ИИ несколько отличается от законов Азимова, которые предполагается навязывать роботам, возможно против их воли. (Более того, законы Азимова, привнесенные в сознание роботов извне, могут побудить их поступить наоборот и заняться поиском хитрых путей их обхода.) В дружественном ИИ, напротив, ничто не мешает роботам убивать и безобразничать. Здесь нет законов, насаждающих искусственную мораль. Скорее можно сказать, что эти роботы с самого начала придуманы так, что для них естественным является желание помогать людям, а не губить их. Они сами выбирают путь добра.

Такой подход породил новое направление, получившее название «социальной робототехники». Его цель — наделить роботов качествами, которые помогут им безболезненно войти в человеческое общество. Ученые компании Hanson Robotics, к примеру, утверждают, что единственная задача их исследований — разработка роботов, которые «эволюционируют в социально разумные существа, способные любить и достойные места в расширенной человеческой семье».

Проблема с подобными подходами в том, что больше всего — и намного! — денег в разработки по искусственно-

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

му интеллекту вкладывают военные, и роботы, создаваемые по их заказам, специально предназначены для выслеживания и убийства людей. Несложно вообразить себе будущих роботов-солдат, задачей которых будет распознавать солдат противника (людей) и уничтожать их с безошибочной эффективностью. При этом придется принимать чрезвычайные, невообразимые меры, чтобы гарантировать, что военные роботы не обернутся против своих хозяев. К примеру, беспилотный роботизированный самолет Predator управляется дистанционно, так что все его действия постоянно контролируют люди, но когда-нибудь самолеты-беспилотники, вероятно, станут автономными и получат возможность самостоятельно выбирать и поражать цели. Сбой в системе управления такого автономного самолета может вызвать катастрофические последствия.

В будущем, однако, все бóльшая доля финансирования в разработку роботов будет поступать из гражданского коммерческого сектора, особенно в Японии, где назначение роботов — помогать, а не разрушать. Если такая тенденция сохранится, дружелюбный ИИ действительно может стать реальностью. В этом сценарии в робототехнике со временем возьмут верх потребительский сектор и рыночные силы, так что вкладывать деньги в дружелюбный ИИ станет чрезвычайно выгодно.

Слиться с роботами

В дополнение к дружелюбному ИИ существует и другой вариант: слиться со своими созданиями. Вместо того чтобы просто ждать, пока роботы превзойдут нас в интеллекте и мощи, нам следует улучшать себя и становиться сверхлюдьми. Я считаю, что будущее будет двигаться по обоим этим путям, т. е. человек будет создавать дружелюбный ИИ и одновременно совершенствоваться.

Этот вариант исследовал, в частности, Родни Брукс (Rodney Brooks), бывший директор знаменитой Лаборатории искусствен-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

ного интеллекта МТИ. Он всегда был бунтарем, сражался с общепринятыми, но косными представлениями и вносил в эту область свежие идеи. Когда он только пришел в робототехнику, там безраздельно господствовал подход «сверху вниз». В результате в робототехнике наблюдался застой. Брукс вызвал немало удивленных взглядов, когда призвал к созданию армии насекомоподобных роботов, которые обучались бы на основе подхода «снизу вверх», т. е. натываясь на препятствия. Он не хотел делать еще одного тупого неуклюжего робота, которому требовалось бы несколько часов, чтобы пересечь комнату. Вместо этого он придумал проворных «инсектоидов», которые почти не требуют предварительного программирования, но быстро учатся передвигаться и ориентироваться среди препятствий методом проб и ошибок. Он предвидит наступление дня, когда его роботы и подобные им будут исследовать Солнечную систему, натываясь в пути на всевозможные препятствия. Эта идея, высказанная Бруксом в очерке «Быстрые, дешевые и себе на уме», на первый взгляд кажется странной и даже нелепой, но со временем такой подход привел к раскрытию целого спектра новых путей развития. В частности, одним из побочных результатов его идеи стали марсианские роверы, которые уже много лет бороздят поверхность Красной планеты*. Стоит ли удивляться, что Брукс был также президентом компании iRobot, продающей сегодня всюду напоминающие жуков роботизированные пылесосы.

Брукс считает, что одна из проблем ИИ состоит в том, что исследователи, как правило, хватаются за новые веяния и работают в рамках текущей парадигмы, вместо того чтобы думать по-новому и искать новые пути. Он вспоминает, к примеру: «В детстве у меня была книга, в которой мозг описывался как телефонный коммутатор. Еще более ранние книги описывали мозг как гидродинамическую систему или паровой двигатель.

* Марсоходы Spirit и Opportunity десантировались на Марс в январе 2004 г. Первый пережил две марсианские зимы и погиб в третью, в середине 2010 г.; второй успешно работает до настоящего времени (июль 2011 г.) и прошел по поверхности Марса уже 33 км. — *Прим. пер.*

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Затем, в 1960-е, мозг стал цифровым компьютером. В 1980-е — цифровым компьютером с параллельной шиной. Вероятно, сейчас можно отыскать детскую книжку, где говорится, что мозг очень напоминает Всемирную паутину...»

Так, некоторые историки отмечают, что на психоанализ Зигмунда Фрейда повлияло появление парового двигателя и конкретно паровоза. Вообще, возникновение в Европе сети железных дорог в середине — конце XIX в. серьезно сказалось на мышлении интеллектуалов. По Фрейду, в сознании человека существуют потоки энергии, которые непрерывно конкурируют с другими потоками, и все это напоминает движение пара в паровозных паропроводах. А тот факт, что подавление этих энергетических потоков может вызывать неврозы, аналогичен тому, что паровой двигатель при закупорке клапана может взорваться.

Марвин Мински признался мне, что существует еще одна парадигма, которая уже много лет уводит исследователей ИИ в сторону и затрудняет развитие. Дело в том, что многие исследователи искусственного интеллекта пришли в эту область из физики и испытывают чувство, известное как «зависть физиков», — желание отыскать единственный принцип, лежащий в основе всякого разума. В физике ученые вслед за Эйнштейном стремятся представить физическую Вселенную в виде нескольких обобщающих уравнений и, возможно, отыскать короткое уравнение, которое объединило бы всю Вселенную единственной универсальной и понятной идеей. Мински считает, что «зависть физиков» побуждает исследователей ИИ искать универсальную базовую формулу и для сознания, — а на самом деле единой формулы или единого принципа не существует! Мински по крайней мере в этом убежден. Эволюция случайным образом объединила в один клубок множество самых разных структур и технологий, которые мы сегодня называем сознанием. Разберите мозг на составные части, и вы найдете набор слабо связанных между собой мини-мозгов, каждый из которых предназначен для выполнения конкретной задачи. Мински называет

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

это «союзом сознаний» и говорит, что на самом деле человеческое сознание — это сумма множества отдельных алгоритмов и техник, которые случайно возникли и были подхвачены эволюцией и которые природа за миллионы лет объединила в единую систему.

Родни Брукс тоже искал похожую парадигму, но такую, которую никто и никогда еще до конца не исследовал. Вскоре он понял, что мать-природа и эволюция уже решили большую часть наших проблем. К примеру, комар, у которого в мозгу содержится всего несколько сотен тысяч нейронов, способен легко обойти любую, в том числе самую лучшую военную роботизированную систему. В отличие от наших беспилотных самолетов, комары, мозг которых по размеру намного уступает булавочной головке, способны независимо ориентироваться в пространстве, обгибать препятствия, находить пищу и партнера. Почему не поучиться у природы и биологии? Посмотрев внимательнее на ступени эволюционной лестницы, нетрудно понять, что в насекомых и мышей никто не закладывал законы логики и здравого смысла. Только метод проб и ошибок позволил им завоевать мир и овладеть искусством выживания.

Теперь Брукс разрабатывает еще одну теретическую идею, изложенную в его статье «Смешение плоти и машин». Он отмечает, что старые лаборатории MIT, когда-то разрабатывавшие полупроводниковые компоненты для промышленных и военных роботов, теперь закрываются, уступая дорогу новому поколению роботов, в состав которых будут входить не только кремний и сталь, но и живые ткани. Он предвидит появление абсолютно новых роботов совершенно новой архитектуры, в которой соединятся биологические и электронные системы.

Брукс пишет: «Я предсказываю, что к 2100 г. всюду в нашей повседневной жизни будут встречаться весьма умные роботы. Но и мы не останемся независимыми от них — скорее, мы сами будем отчасти роботами и будем при этом неразрывно связаны с роботами».

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Он считает, что путь к этому будет постепенным. В настоящее время уже идет революция в протезировании, электронные компоненты вживляются непосредственно в тело человека, чтобы обеспечить реалистичную замену слуху, зрению и другим биологическим функциям. К примеру, искусственная «улитка» уже произвела переворот в аудиологии и дала возможность возвращать слух глухим людям. Работа искусственных улиток состоит в том, чтобы подключать электронные устройства к биологической сети, т. е. к нейронам. Такой слуховой имплант состоит из нескольких компонент. Снаружи возле уха помещается микрофон. Он принимает звуковые волны, обрабатывает их и передает сигналы по радио импланту, хирургически размещенному внутри уха. Имплант принимает радиопослания, переводит их в электрические токи и отправляет дальше по проложенным в ухе электродам. Улитка распознает электрические импульсы и пересылает их в мозг. В таких имплантах может использоваться до 24 электродов, которых достаточно для обработки полудюжины различных частот. Этого, в свою очередь, достаточно, чтобы различать человеческий голос. На сегодня уже 150 000 человек во всем мире носят улитку-имплант.

Несколько групп ученых занимаются вопросом помощи слепым и создания системы искусственного зрения, которая позволила бы подключить камеру к человеческому мозгу. Один из предлагаемых методов состоит в том, чтобы вживить полупроводниковый чип непосредственно в сетчатую оболочку человеческого глаза и подсоединить его к соответствующим зрительным нейронам. Другой — в том, чтобы подсоединить чип к специальному кабелю, который будет вести в заднюю часть черепа, где мозг обрабатывает зрительные сигналы. Этим группам ученых уже удалось впервые в истории вернуть какую-то часть зрения полностью слепым людям. Пациенты получили возможность различать до 50 световых точек, заживавшихся перед ними. Со временем, вероятно, ученым удастся повысить этот результат и довести число точек до нескольких тысяч.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Пока пациенты различают огни фейерверков, общие очертания своих рук, яркие светящиеся объекты и лампы, распознают присутствие поблизости автомобилей и людей и улавливают границы объектов. «На детских бейсбольных играх я различаю, где находятся принимающий, отбивающий и судья», — говорит Линда Морфут, одна из пациенток, на которых испытываются новые приборы.

На сегодняшний день 30 пациентов получили искусственную сетчатку и до 60 электродов. Но в Проекте искусственной сетчатки Министерства энергетики США, штаб-квартира которого находится в Университете Южной Калифорнии, уже разрабатывается новая система с более чем 200 электродами. Изучается также возможность разработки системы на 1000 электродов (но если к одному чипу подключить слишком много электродов, сетчатка может перегреться). В этой системе миниатюрная видеокамера, установленная на очках слепого человека, снимает окружающее и пересылает сигналы по беспроводной связи в микропроцессорный блок, который человек носит на поясе. Блок затем передает информацию чипу, помещенному непосредственно на сетчатку. Этот чип, в свою очередь, посылает слабые импульсы прямо в нервы сетчатки, которые сохранили активность. Таким образом можно обойти и отчасти заменить неработоспособные клетки сетчатки.

Роботизированная рука из «Звездных войн»

Механические усилители позволяют также копировать «изобретения» научной фантастики, включая роботизированную руку из «Звездных войн» и рентгеновское зрение Супермена. В фильме «Империя наносит ответный удар» Люк Скайуокер теряет кисть руки в результате удара светового меча, находящегося в руке злодея Дарта Вейдера, его отца. Никаких проблем. Ученые той далекой галактики быстро создают для него новую

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

механическую руку с пальцами, способными чувствовать прикосновение.

Конечно, это кажется фантастикой — это и есть фантастика, — но на самом деле подобные вещи уже рядом с нами. Ученые Италии и Швеции добились значительного прогресса в этом вопросе и разработали роботизированную искусственную руку, способную «чувствовать». Первый пациент, Робин Экенстам (Robin Ekenstam), — 22-летний молодой человек, потерявший правую руку в результате рака, может теперь управлять движениями механических пальцев и ощущать реакцию предмета. Врачи подсоединили нервы руки Экенстама к чипам, установленным в его механической руке, так чтобы он мог при помощи сознания контролировать движения пальцев. В искусственной «умной руке» имеется четыре моторчика и 40 чувствительных элементов — сенсоров. Движения механических пальцев передаются в мозг пациента, так что он их чувствует и получает, соответственно, сигнал обратной связи. Таким образом, он может не только управлять движениями руки, но и «чувствовать» их. А поскольку обратная связь — одно из существенных условий корректных движений тела, новые протезы, возможно, производят переворот в нашем отношении к инвалидам с искусственными конечностями.

Экенстам говорит: «Это очень здорово. Я испытываю чувства, которых не испытывал долгое время. Ко мне возвращается чувство руки. Стоит мне что-нибудь крепко сжать — и я ощущаю это кончиками пальцев, что странно, ведь их у меня больше нет».

Один из исследователей, Кристиан Чиприани (Christian Cipriani) из итальянского университета «Высшая школа Св. Анны», говорит: «Сначала мозг управляет движениями механической руки без всяких мышечных сокращений. Затем рука сможет послать мозгу сигнал обратной связи, так что пациент сможет это движение почувствовать. В точности как у настоящей руки».

Это достижение очень важно, поскольку оно означает, что когда-нибудь люди смогут без труда управлять механическими

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

конечностями, как если бы они состояли из плоти и костей. Вместо того чтобы долго осваивать управление металлическими руками и ногами, люди научатся обращаться с механическими протезами как с настоящими и чувствовать все нюансы движений через механизмы электронной обратной связи.

Имеются также данные в пользу теории о том, что человеческий мозг чрезвычайно пластичен и не имеет постоянной структуры, а непрерывно обновляет и заново устанавливает внутренние связи в соответствии с новыми заданиями и приспосабливается к новым обстоятельствам. Из этого следует, что мозг достаточно адаптабелен, чтобы принять на себя управление любым новым приспособлением или органом чувств. Их можно подключать к мозгу в разных местах, и мозг просто «научится» их контролировать. Если так, то мозг можно рассматривать как модульное устройство, способное коммутироваться в разных конфигурациях и брать на себя управление различными сенсорами и исполняющими устройствами. Такой тип поведения можно ожидать, если наш мозг представляет собой некую нейронную сеть, которая собирается по-новому, устанавливает новые связи и прокладывает новые нейронные пути всякий раз, когда сталкивается с новой задачей или необычными обстоятельствами, какими бы они ни были.

Родни Брукс пишет: «В следующие десять-двадцать лет произойдет культурный сдвиг, при котором мы примем роботизированные технологии, полупроводники и сталь в наши тела, попытаемся улучшить то, что имеем, и понять окружающий нас мир». Анализируя успехи по подключению мозга непосредственно к компьютеру или к механической руке, достигнутые в университетах Брауна и Дьюка, Брукс делает вывод: «Не исключено, что все мы сможем установить у себя прямо в мозгу беспроводное соединение с Интернетом».

На следующем этапе, считает он, целью слияния кремниевых чипов с живыми клетками будет уже не просто исправление физических недостатков, но постепенное увеличение наших спо-

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

способностей. К примеру, если сегодня импланты-улитки и искусственная сетчатка могут в какой-то степени восстановить слух и зрение, то завтра подобные приборы, возможно, дадут нам сверхчеловеческие способности. Мы научимся слышать звуки, доступные сегодня только собакам, и видеть ультрафиолетовые, инфракрасные и рентгеновские лучи.

Не исключено, что нам удастся улучшить и свои мыслительные способности. Брукс цитирует исследования, в которых к мозгу крысы в критические моменты развития зародыша добавлялись дополнительные слои нейронов. Интересно, что когнитивные способности таких крыс превосходили средние крысиные показатели. Брукс предвидит, что в недалеком будущем наступит время, когда при помощи аналогичных процессов можно будет улучшить интеллектуальные показатели и человеческого мозга. В дальнейших главах мы увидим, что биологи уже выделили у крыс ген, которые средства массовой информации окрестили «мышинным геном ума». «Улучшенная» мышь, в геном которой был введен этот ген, обладает значительно большим объемом памяти и лучшей обучаемостью, чем обычная.

К середине века, по мнению Брукса, наступит время, когда можно будет осуществлять фантастические на первый взгляд улучшения в теле, придавая нам способности, намного превосходящие способности обычного человека. «Через пятьдесят лет мы, скорее всего, увидим радикальные перемены в человеческом теле в результате генетических модификаций». А если добавить к этому еще и электронные усилители, то «разнообразие человеческих типов расширится в невообразимых для нас сегодня направлениях... Нас уже не будет ограничивать дарвиновская эволюция», — говорит он.

Но любые разумные идеи, конечно, можно довести до абсурда. Как далеко нам нужно будет зайти в деле слияния с нашими созданиями — роботами, прежде чем часть людей взбунтуется и скажет, что подобные гибриды вызывают у них отвращение?

Суррогаты и аватары

Существует способ соединения с роботами, при котором нам не придется менять свое человеческое тело. Речь идет о создании суррогатов, или аватаров. В фильме «Суррогаты» с Брюсом Уиллисом в главной роли рассказывается о том, что в 2017 г. ученые придумали способ, при помощи которого люди могли управлять роботами так, как если бы находились внутри их, и каждый получил возможность прожить жизнь в идеальном теле. Робот отзывался на любые команды, а человек-хозяин видел и чувствовал все, что видел и чувствовал его суррогат. Пока бранные тела людей слабели и старели, сами люди спокойно управляли поведением роботов-заменителей, обладавших сверхчеловеческими способностями и идеальной фигурой. Сюжет фильма осложняется тем, что люди в какой-то момент предпочли остаться молодыми и красивыми роботами-сверхчеловеками и бросить свои стареющие тела, которые очень кстати оказываются скрыты от глаз. По существу, весь род человеческий, не желая смотреть в лицо реальности, добровольно выбирает жизнь роботов.

В фильме «Аватар» эта идея продвигается еще на один шаг. Вместо того чтобы вести жизнь идеальных роботов, как в «Суррогатах», мы в 2154 г., может быть, получим возможность жить жизнью инопланетных существ. По сюжету фильма тело человека помещают в специальный кокон, а сам он получает возможность управлять специально клонированным телом инопланетянина. В каком-то смысле человек получает новое тело, которое позволит ему жить на новой планете. Таким образом мы сможем лучше контактировать с населением иных планет. По ходу сюжета фильма один из героев решает отказаться от своей человеческой сущности и жить жизнью аборигена, защищая местных жителей от наемников.

Сегодня подобные суррогаты и аватары невозможны, но не исключено, что в будущем такие возможности у человека появятся.

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Недавно ASIMO был запрограммирован под новую идею, связанную с удаленным чувствованием. В университете Киото были подготовлены люди, которые должны управлять механическими движениями роботов при помощи сенсоров мозга. К примеру, студенты надевают на голову шлем для снятия электроэнцефалограммы и получают возможность мысленным усилием приводить в движение руки и ноги ASIMO. Пока испытуемые освоили четыре различных движения руками и головой робота. Не исключено, однако, что это первый шаг к новому направлению ИИ: созданию роботов, управляемых силой мысли.

Пока это всего лишь грубая демонстрация силы мысли и ее превосходства над материей, но в будущем — в ближайшие несколько десятилетий — мы, вероятно, увеличим набор движений, которые человек может мысленно скомандовать роботу, и установим обратные связи, так чтобы человек мог «чувствовать» свои новые роботизированные руки. Специальные очки или контактные линзы позволять увидеть все, что видит робот, и когда-нибудь человек, возможно, обретет полный мысленный контроль над его телесными движениями.

Не исключено, что такой подход позволит решить проблему иммиграции для Японии. Представьте себе работников, живущих в разных странах мира, но каждый день надевающих сенсорные шлемы и берущих на себя управление роботами-рабочими. Получается, что не только интеллектуальный, но и физический труд можно будет передавать дистанционно, через Интернет, и получать на выходе реальные физические действия механических рабочих. Это может означать, что роботы станут неотъемлемой частью любой нации, столкнувшейся с проблемой нехватки рабочей силы и заоблачных расходов на здравоохранение.

Дистанционное управление роботами можно будет применить и в других областях. Роботы, управляемые силой мысли, смогут исполнять функции спасателей в любой опасной или агрессивной среде (к примеру, под водой, возле высоковольт-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

ных линий или в огне). Или, скажем, подводных роботов можно будет подключить непосредственно к людям, так что человек сможет мысленно управлять движениями множества плавающих роботов. Поскольку суррогаты будут обладать сверхчеловеческими способностями, с их помощью можно будет гоняться за преступниками (если, конечно, преступники тоже не обзаведутся суррогатами с возможностями сверхчеловека). В общем, человек сможет пользоваться всеми преимуществами слияния с роботами, не меняя при этом нисколько своего тела.

Достижения в этой области могут оказаться полезными и в деле исследования и освоения космического пространства — к примеру, на постоянной лунной базе. Суррогаты будут выполнять все опасные задачи по содержанию и обслуживанию лунной базы, а астронавты все это время будут оставаться на Земле, в безопасности. При этом последние смогут пользоваться сверхсилой и другими сверхвозможностями роботов, что, безусловно, окажется полезным при исследовании полного опасностей инопланетного ландшафта. (Однако с суррогатами на Марсе такой фокус не пройдет, поскольку прохождение радиосигналов от Земли к Марсу и обратно занимает до 40 минут. Тем не менее суррогаты смогут работать на поверхности Красной планеты, выполнять опасные задачи под управлением астронавтов, находящихся в безопасности на постоянной марсианской базе.)

Стоит ли полностью сливаться с роботами?

Пионер робототехники Ганс Моравек заходит еще на несколько шагов дальше и представляет нам крайний случай слияния: мы полностью превращаемся в тех самых роботов, которых создали. Он объяснил мне, как человек может до конца слиться со своим роботизированным созданием: хирургическая операция заменит каждый нейрон человеческого мозга на транзистор внутри робота. Операция начинается, когда человек ложится рядом с безмозглым пока телом робота. Робот-хирург берет поочеред-

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

но каждый кластер серого вещества мозга, воспроизводит его транзистор за транзистором, подключает нейроны к транзисторам и помещает готовый элемент мозга в череп робота. По мере дублирования кластеров мозга оригиналы отключаются. Человек во время этой деликатной операции находится в полном сознании. Часть его мозга продолжает функционировать в черепе его прежнего тела, но другая часть уже состоит из электронных элементов и находится внутри тела робота. Такая операция даст человеку не только роботизированное тело, но и все преимущества робота: бессмертие в совершенном теле, обладающем сверхчеловеческими способностями. В XXI в. такая операция не станет возможной, но в XXII — может быть.

Крайний сценарий такого рода предусматривает полный отказ от наших неуклюжих тел и превращение со временем в чисто компьютерные программы, в которых будет закодирована наша личность. Можно будет «загрузить» себя целиком, всю свою личность, в компьютер, и если кто-нибудь нажмет на клавиатуре этого компьютера кнопку с вашим именем, машина станет вести себя как вы, ведь ее память будет хранить все особенности вашей личности. Человек станет бессмертным, но будет существовать лишь в замкнутом мире компьютера, взаимодействуя с другими «людьми» (т. е. с другими программами) в некоем огромном киберпространстве — виртуальной реальности. Он откажется от телесного существования, заменив его движением электронов в гигантском компьютере. Окончательная судьба человека в этом сценарии — превратиться в строчку кода огромной компьютерной программы и при этом вести виртуальную псевдотелесную жизнь в виртуальном раю. Он будет обмениваться глубокими мыслями с другими строчками программного кода и жить в иллюзорном мире. Он будет совершать героические подвиги и исследовать новые миры, не обращая внимания на то, что сам он — всего лишь танец электронов внутри некоего компьютера. Конечно, все это до тех пор, пока компьютер кто-нибудь не выключит.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Однако существует проблема, которая, судя по всему, не позволит завести подобные сценарии слишком далеко: это Принцип пещерного человека. Мы уже говорили, что архитектура нашего мозга соответствует образу жизни примитивного охотника-собирателя, вышедшего из Африки более 100 000 лет назад. Наши заветные желания, аппетиты и нужды сформировались на травянистых равнинах Африки, где наши далекие предки убегали от хищников, выслеживали и загоняли добычу, собирали пищу в лесу, искали себе партнеров и развлекались у привальных костров.

Одной из первичных наших потребностей, прочно вплетенных в ткань мыслей и подсознания, является желание хорошо выглядеть, особенно в глазах противоположного пола и сверстников. Громадную часть свободных средств человек тратит (после развлечений) на собственную внешность. Именно поэтому так быстро развиваются пластическая хирургия, всевозможные технологии омоложения, производство продуктов ухода за лицом и телом и одежды на самый разный вкус, а также обучение танцам, бодибилдинг, модная музыка и здоровый образ жизни. Если сложить все это, получится громадный сектор потребительского рынка, который в свою очередь порождает значительную долю экономики США.

Все это означает, что, получив возможность создавать идеальные, почти бессмертные тела, мы, не захотим переселяться в роботизированные оболочки, если при этом будем выглядеть как неуклюжие роботы с торчащими из головы имплантами. Никто не захочет походить на беглеца из научно-фантастического фильма. Если уж переселяться в новое тело, то только в такое, которое сделает нас привлекательными для противоположного пола и повысит наше реноме среди ровесников. В противном случае новые тела будут нам не нужны. Какой подросток захочет обрести сверхспособности за счет внешнего вида?

Некоторым писателям-фантастам нравится идея о том, что мы все со временем избавимся от тел и станем бессмертными

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

сущностями, воплощениями чистого разума, внутри некоего компьютера, погрузившись в размышления о вечном. Но кто захочет так жить? Возможно, наши потомки не станут решать дифференциальные уравнения, описывающие структуру черной дыры. Может быть, в будущем люди предпочтут чаще слушать рок-музыку совершенно старомодным способом, нежели рассчитывать движение элементарных частиц, живя каким-то непостижимым образом внутри компьютера.

Грег Сток (Greg Stock) из Университета Калифорнии в Лос-Анджелесе заходит еще дальше. Он считает, что в налаживании связи человеческого мозга с суперкомпьютером нет особого смысла. Он говорит: «Когда я пытаюсь думать о преимуществах, которые мог бы получить, если бы между моим мозгом и суперкомпьютером была налажена прямая связь, я оказываюсь в тупике, если пытаюсь настаивать на двух условиях: чтобы эти преимущества невозможно было получить каким-то другим, неинвазивным способом и чтобы они окупали в моих глазах неудобства, связанные с нейрохирургической операцией».

Так что, хотя возможностей в будущем просматривается немало, я лично считаю, что наиболее вероятный путь — разработка изначально благожелательных и дружественных роботов и улучшение наших физических возможностей, — но лишь в той мере, в какой это не противоречит Принципу пещерного человека. Человек с удовольствием попробовал бы пожить жизнью суперробота при помощи суррогатного тела, но никогда не пойдет на то, чтобы полностью переселиться в компьютер или изменить свое тело до неузнаваемости.

Рубежи на пути к сингулярности

Никто не знает наверняка, когда роботы смогут сравняться с человеком по интеллекту. Однако я лично отнес бы это событие на конец нынешнего века по нескольким причинам.

Во-первых, поразительные успехи компьютерных технологий в значительной степени объясняются законом Мура. Но где-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

то в 2020–2025 гг. заданные им темпы развития начнут замедляться, а в какой-то момент рост, возможно, совсем остановится. Поэтому неясно, можем ли мы достоверно оценивать скорость новых компьютеров после этой даты. (Информацию о посткремниевой эпохе см. в главе 4.) При написании этой книги я исходил из предположения о том, что мощность компьютеров будет продолжать расти, но более медленными темпами.

Во-вторых, даже если компьютеры научатся считать с фантастической скоростью вроде 10^{16} операций в секунду, это не будет обязательно означать, что они стали умнее нас. К примеру, Deep Blue, компьютер-шахматист фирмы IBM, способен проанализировать 200 миллионов позиций в секунду и обыграть чемпиона мира. Но, несмотря на всю свою скорость и вычислительную мощь, этот компьютер больше ничего делать не умеет. А мы уже знаем, что истинный разум — это нечто гораздо большее, чем просто перебор и анализ шахматных позиций.

К примеру, среди аутистов встречаются эрудиты, способные творить чудеса с числами и запоминанием данных. Но этим людям бывает трудно завязывать шнурки, найти работу или жить в обществе. Покойный Ким Пик — человек настолько необычный, что стал прототипом главного героя фильма «Человек дождя», — помнил каждое слово из 12 000 книг и способен был производить вычисления, проверить которые мог только компьютер. Тем не менее его IQ равнялся 73, ему было сложно поддерживать разговор и, чтобы выжить, он нуждался в постоянной помощи. Без поддержки отца он был практически беспомощен. Иными словами, сверхбыстрые компьютеры будущего будут похожи на гениев-аутистов; они смогут запоминать громадное количество информации, но не способны будут самостоятельно выжить в реальном мире.

Даже если компьютеры сравниваются с человеческим мозгом по скорости вычислений, им все равно будет не хватать необходимых программ, чтобы все это заработало. Скорость вычислений — всего лишь начало долгого пути.

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

В-третьих, даже если разумные роботы возможны, неизвестно, способен ли робот изготовить собственную копию, которая будет умнее оригинала. Математический аппарат для самовоспроизводящихся роботов был разработан математиком Джоном фон Нейманом (John von Neumann), изобретателем теории игр и участником разработки электронного компьютера. Он первым поднял вопрос об определении минимального числа исходных посылок, необходимых для того, чтобы машина могла воспроизвести сама себя. Однако Нейман никогда не обращался к вопросу о том, сможет ли робот сделать свою копию умнее себя. Более того, сама «разумность» — понятие спорное и общепринятого его определения не существует.

Конечно, можно смело предположить, что робот сумеет создать копию себя, сумеет снабдить ее более емкой памятью и лучшими вычислительными возможностями — для этого достаточно будет добавить в структуру дополнительные чипы. Но означает ли это, что копия будет умнее оригинала или просто быстрее? К примеру, калькулятор считает в миллион раз быстрее человека, но сказать, что он умнее, не повернется язык. Так что разум, очевидно, — это нечто большее, чем просто скорость и объем памяти.

В-четвертых, даже если вычислительные мощности компьютеров будут расти экспоненциально, программное обеспечение может за ними и не успеть. Если возможности компьютерного «железа» долгое время развивались за счет микроминиатюризации транзисторов и совершенствования технологии производства, позволявших размещать на одной и той же подложке все большее число электронных элементов, то с программным обеспечением все иначе. Для его создания нужен человек, который сядет за стол, возьмет карандаш и сочинит программный код. Это и есть самое главное ограничение: человек.

Программное обеспечение, как и любая творческая деятельность человека, развивается скачками; здесь бывают блестя-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

щие озарения и долгие периоды застоя и монотонной работы. Если в электронике как таковой достаточно было научиться вытравливать на кремниевой подложке все больше и больше транзисторов — и здесь закон Мура работал как часы, — то уровень программного обеспечения определяется такими непредсказуемыми качествами, как человеческая креативность и настроение. Поэтому все предсказания, касающиеся стабильного экспоненциального роста компьютерных мощностей, следует оценивать трезво. Цепь не может быть прочнее самого слабого своего звена, а слабое звено компьютера — программное обеспечение, которое создают люди.

В технике развитие часто идет по экспоненте, особенно если речь идет всего-навсего о повышении эффективности технологических процессов. Однако когда дело доходит до фундаментальных исследований, где трудно обойтись без удачи, мастерства и неожиданных гениальных прозрений, речь может идти скорее о «прерывистом равновесии», когда долгое время почти ничего не меняется, а затем вдруг происходит прорыв, который полностью меняет всю картину. Если взглянуть на историю фундаментальных исследований от Ньютона до Эйнштейна и до наших дней, становится понятно, что прерывистое равновесие более точно описывает способ развития фундаментальной науки.

В-пятых, как мы уже видели в исследованиях по реверсивному проектированию мозга, чрезвычайно высокая стоимость и просто масштаб проекта, по всей видимости, отсрочат его реализацию до середины века. А затем наступит время обработки данных, которая тоже может растянуться на много десятилетий, и в результате полная модель мозга, скорее всего, будет создана лишь к концу текущего столетия.

В-шестых, вероятно, не будет никакого «большого взрыва», когда машины вдруг, в один день, обретут сознание. Как прежде, если мы установим, что сознание обязательно включает способность планировать будущее при помощи моделирования,

БУДУЩЕЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

получится, что существует целая шкала сознания, целый спектр его уровней. Машины будут медленно двигаться по этой шкале вверх, и человек успеет подготовиться. Я считаю, что это произойдет ближе к концу века, так что времени на обсуждение всевозможных вариантов и путей у нас достаточно. Сначала у роботов появится некая форма «кремниевого сознания», и только потом — настоящее человеческое сознание.

Но здесь возникает другой вопрос. Наряду с механическими способами усовершенствовать тело человека существуют и биологические способы. Более того, весь ход эволюции основывается на отборе лучших генов — так почему бы человеку не «перепрыгнуть» через миллионы лет эволюции и не взять под контроль собственную генетическую судьбу?

3. БУДУЩЕЕ МЕДИЦИНЫ

СОВЕРШЕНСТВО И ДАЛЕЕ

Ни у кого не хватает духу сказать это вслух,
но если бы мы могли улучшить человеческую природу,
научившись добавлять гены, то почему бы нам этого не сделать?
Джеймс Уотсон, нобелевский лауреат

На самом деле я не думаю, что человеческое тело сохранит от нас
какие-то секреты до конца текущего века.
А поэтому все, что мы сумеем придумать, вероятно, воплотится в реальность.
Дэвид Балтимор, нобелевский лауреат

Я не думаю, что время уже настало, но оно близко. Я боюсь, к несчастью,
что принадлежу к последнему поколению, которому суждено умереть.
Джеральд Суссман

Мифические боги обладали абсолютным могуществом: властью над жизнью и смертью, способностью исцелять больных и продлять жизнь. Первой в человеческих молитвах, обращенных к богам, была мольба об избавлении от болезней и немощи.

В греческой и римской мифологии есть легенда об Эос, прекрасной богине утренней зари. Однажды она без памяти влюбилась в смертного красавца Тифона. Эос, конечно, обладала совершенным телом и была бессмертна, но Тифон должен был со временем постареть, увянуть и умереть. Богиня решила спасти возлюбленного от этой печальной судьбы. Она умолила Зевса, отца богов, даровать Тифону бессмертие, чтобы они могли провести вместе вечность. Сжалившись над влюбленными, Зевс исполнил просьбу Эос.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Однако Эос в спешке забыла попросить Зевса о вечной молодости для своего возлюбленного. Так что Тифон стал бессмертным, но его тело состарилось. Он не мог умереть, но тело старилось все сильнее, и ему пришлось вечно жить в боли и страдании.

Именно такой вызов стоит перед медицинской наукой XXI в. Исследователи научились читать книгу жизни, которая включает в себя полный геном человека и обещает чудесные достижения в понимании процесса старения. Но продление жизни без здоровья и энергии может стать не вечным благом, а вечным наказанием, в чем и убедился мифический Тифон на собственном горьком опыте.

К концу текущего столетия человек тоже обретет в значительной степени мифическую власть над жизнью и смертью. И власть эта не будет ограничена исцелением больных. Нет, ее можно будет обратить на совершенствование человеческого тела и даже на создание новых форм жизни. Однако достигнуто это будет не молитвами и заклинаниями, а благодаря чудесам биотехнологии.

Среди ученых, раскрывающих тайны жизни, можно назвать Роберта Ланцу (Robert Lanza) — человека, который всегда спешит. Ланца принадлежит к биологам нового типа, молодым, энергичным и полным свежих идей. Впереди так много прорывов и озарений, а времени так мало! Ланца работает на острие биотехнологической революции. Как ребенок в кондитерской лавке, он с радостным нетерпением бросается исследовать новые территории, делая по пути открытия в самых разных «горячих» областях.

Поколение или два назад биологическая наука выглядела совершенно иначе. Биологи не спеша исследовали каких-нибудь малоизвестных червей или жуков, терпеливо и подробно изучали их анатомию и долго придумывали для них латинские названия.

Ланца не таков.

Будущее медицины

Я познакомился с Ланца в радиостудии, где должен был взять у него интервью. Он сразу же произвел на меня сильное впечатление своей молодостью и безмерной изобретательностью. В тот момент он, как обычно, разрывался между несколькими экспериментами. Он рассказал мне, что его деятельность в этой стремительно развивающейся области началась самым необычным образом. Ланца вырос в скромной рабочей семье к югу от Бостона, где мало кто после школы продолжал учебу в колледже. Однако случайно услышанное сообщение о раскрытии тайны ДНК настолько поразило школьника, что судьба его была решена. Роберт решил клонировать у себя в комнате цыпленка. Ошеломленные родители не понимали, чем занимается сын, но мешать не стали.

Твердо решив осуществить свой проект, Ланца поехал в Гарвардский университет за советом. Никого там не зная, он спросил у какого-то мужчины, которого принял за швейцара, как пройти туда-то и туда-то. Заинтригованный «швейцар» привел подростка в свой кабинет. Позже Ланца узнал, что «швейцар» на самом деле был старшим сотрудником нужной ему лаборатории. Он познакомил дерзкого и упрямого школьника с другими учеными, в том числе с исследователями нобелевского масштаба, и это полностью изменило жизнь молодого человека. Ланца сравнивает себя с героем Мэтта Дэймона в фильме «Умница Уилл Хантинг», где неряшливый уличный подросток из рабочего района поражает профессоров MIT своим математическим гением.

Сегодня Ланца — старший научный сотрудник фирмы Advanced Cell Technology, на его счету сотни публикаций и изобретений. В 2003 г. он стал героем газетных заголовков. Зоопарк Сан-Диего обратился к ученому с просьбой клонировать бантенга — вид диких быков, которому грозит вымирание, — из туши быка, умершего 25 лет назад. Ланца успешно выделил из замороженных тканей клетки, пригодные к использованию, обработал и отправил готовые оплодотворенные клетки на ферму в штате

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Юта, где зародыши были подсажены в матку коровы. Через десять месяцев Ланца получил известие о рождении своего последнего творения. Одновременно он мог работать над «инженерией тканей». Со временем на базе этой технологии, возможно, будет создана мастерская по выращиванию человеческих органов, где каждый сможет заказать для себя новые органы для замены изношенных или больных, выращенные из наших собственных клеток. И тут же — работа над клонированием клеток человеческого зародыша. Ланца был членом той исторической команды ученых, которая впервые в мире клонировала человеческий зародыш с целью получения стволовых клеток.

Три этапа развития медицины

Роберту Ланце удалось оседлать приливную волну открытий, порожденных раскрытием тайн ДНК. Исторически в развитии медицины в человеческом обществе можно выделить по крайней мере три крупных этапа. На первом этапе, продолжавшемся десятки тысяч лет, в медицине царили суеверие, колдовство и слухи. Большинство детей умирало при рождении, а ожидаемая продолжительность жизни колебалась от 18 до 20 лет. В этот период были открыты кое-какие полезные травы и химические вещества, такие как аспирин, но научного метода поиска новых лекарств и способов лечения не существовало. К несчастью, любые средства, которые по-настоящему помогали, становились тщательно охраняемыми секретами. Чтобы заработать, «врач» должен был угождать богатым пациентам, а рецепты своих микстур и заклинания хранить в глубокой тайне.

В этот период один из основателей знаменитой ныне клиники Мэйо, посещая пациентов, вел личный дневник. Там он откровенно писал, что в его черном врачебном чемоданчике есть всего два действенных средства: пила и морфий. Пилу он использовал для ампутации пораженных органов, а морфий — для обезболивания при ампутации. Эти средства работали безотказно.

Будущее медицины

Все остальное в черном чемоданчике, грустно замечал доктор, — это змеиный жир и шарлатанство.

Второй этап развития медицины начался в XIX в., когда появилась микробная теория болезней и сформировались представления о гигиене. Ожидаемая продолжительность жизни в США в 1900 г. составила 49 лет. В Европе на полях сражений Первой мировой войны умирали десятки тысяч солдат, и возникла нужда в настоящей медицинской науке, в проведении реальных экспериментов с воспроизводимыми результатами, которые затем публиковались в медицинских журналах. Европейские короли в ужасе наблюдали, как гибнут их лучшие и умнейшие подданные, и требовали от врачей настоящих результатов, а не пустых фокусов. Теперь врачи, вместо того чтобы угождать богатым покровителям, сражались за признание и славу при помощи статей в солидных рецензируемых журналах. Так была подготовлена платформа для продвижения антибиотиков и вакцин, которые увеличили ожидаемую продолжительность жизни до 70 лет и более.

Третья стадия развития — это молекулярная медицина. Мы сегодня наблюдаем слияние медицины и физики, видим, как медицина проникает вглубь вещества, к атомам, молекулам и генам. Этот исторический переход начался в 1940-е гг., когда австрийский физик Эрвин Шрёдингер, один из основателей квантовой теории, написал востребованную книгу «Что такое жизнь?». Он отверг представления о том, что существует какой-то таинственный дух, или жизненная сила, которая присуща всем живым существам и которая собственно и делает их живыми. Вместо этого, рассуждал ученый, вся жизнь основана на некоем коде, а код этот содержится в молекуле. Обнаружив ее, он предполагал, что разгадает тайну бытия. Физик Фрэнсис Крик (Francis Crick), вдохновленный книгой Шрёдингера, объединил усилия с генетиком Джеймсом Уотсоном, чтобы доказать, что этой сказочной молекулой является молекула ДНК. В 1953 г. было сделано одно из важнейших открытий всех времен — Уотсон и Крик раскрыли структуру ДНК, имеющую

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

форму двойной спирали. Длина одной нитки ДНК в распутанном виде составляет около двух метров. Такая нитка представляет собой последовательность из 3 млрд азотистых оснований, которые обозначаются буквами А, Т, С, G (аденин, тимин, цитозин и гуанин) и несут в себе закодированную информацию. Расшифровав точную последовательность азотистых оснований в цепочке ДНК-молекулы, можно прочесть книгу жизни.

Стремительное развитие молекулярной генетики привело в конце концов к возникновению проекта «Геном человека» — важнейшей вехи в истории медицины. Ударная программа секвенирования всех генов человеческого организма обошлась примерно в 3 млрд долларов и включала в себе работу сотен ученых по всему миру. Успешное завершение проекта в 2003 г. ознаменовало начало новой эпохи в науке. Со временем у каждого человека появится личная карта генома на электронном носителе вроде CD-ROM. В этой карте будут записаны все примерно 25 000 генов данного человека, и она станет для каждого своеобразной «инструкцией по применению».

Нобелевский лауреат Дэвид Балтимор обобщил все вышесказанное одной фразой: «Сегодняшняя биология — это информационная наука».

БЛИЖАЙШЕЕ ВРЕМЯ (с настоящего момента до 2030 г.)

Геномная медицина

Движущей силой сегодняшнего взрывного развития медицины являются, в частности, квантовая теория и компьютерная революция. Квантовая теория дала человеку поразительно подробные модели молекулярной структуры — например, структуры белков и молекулы ДНК. Мы знаем, как построить молекулу жизни, атом за атомом. А секвенирование генов, которое прежде было долгой, нудной и дорогой процедурой, теперь полностью автоматизировано и производится роботами. Первоначаль-

Будущее медицины

но секвенирование всех генов в теле одного человека стоило несколько миллионов долларов. Эта процедура была настолько дорогой и длительной, что лишь горстка людей в мире (включая ученых, которые занимались совершенствованием и отладкой этой технологии) могла позволить себе обзавестись собственной геномной картой. Однако всего через несколько лет эта экзотическая технология, по всей видимости, станет доступна каждому.

(Прекрасно помню свое выступление на конференции во Франкфурте в конце 1990-х гг., где говорилось о будущем медицины. Я предсказывал, что к 2020 г. личная карта генома будет вполне доступна и каждый желающий сможет обзавестись диском или чипом с полным описанием своих генов. Мое заявление вызвало раздражение одного из участников; он поднялся и сказал, что это несбыточная мечта. Генов в человеческом организме попросту слишком много, и составление персональной геномной карты для любого человека будет стоить слишком дорого. Проект «Геном человека» обошелся в 3 млрд долларов, и стоимость секвенирования генов каждого отдельного человека никогда не снизится слишком сильно. Позже мы с ним еще поговорили на эту тему, и я понял, в чем заключается проблема. Этот человек мыслил линейно. Однако за короткое время закон Мура многократно снизил цены и дал возможность секвенировать ДНК с использованием роботов, компьютеров и автоматических установок. Тот человек просто не понял, какое глубокое значение приобрел в биологической науке закон Мура. Сегодня, оглядываясь назад, я понимаю, что если и ошибся в оценке, то в большую сторону. На самом деле возможность получить личную геномную карту появится еще раньше.)

К примеру, инженер из Стэнфордского университета Стивен Квейк (Stephen R. Quake) разработал на основе последних достижений очередную роботизированную систему. Он сумел снизить стоимость полного секвенирования до 50 000 долларов и уверен, что через несколько лет она упадет до 1000 долларов. Ученые предполагают, что падение стоимости секвенирования

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

генов до 1000 долларов может послужить сигналом к началу массового обращения за генными картами, так что эта технология станет доступна значительной части человечества. Может быть, через несколько десятков лет процедура полного секвенирования генов будет стоить меньше 100 долларов, не дороже стандартного анализа крови.

(Ключ к последним достижениям в этой области — рационализация процедуры секвенирования. Квейк сравнивает цепочки исследуемой ДНК с аналогичными цепочками, которые были уже прочитаны у других пациентов. Он разбивает геном на кусочки, содержащие по 32 бита информации, затем компьютерная программа сравнивает эти фрагменты с уже прочитанными геномами других людей. Известно, что ДНК всех людей почти идентична, различия составляют в среднем менее 0,1%. Это означает, что компьютер может быстро найти среди 32-битных фрагментов соответствующие.)

Квейк стал восьмым человеком в мире, чей геном был полностью прочитан. В этом проекте у него был и личный интерес, поскольку он хотел проверить свой геном на признаки сердечно-сосудистых заболеваний. К несчастью, его геном свидетельствует о том, что он действительно унаследовал не самый удачный вариант одного из генов, связанный с сердечным заболеванием. «Чтобы рассматривать собственный геном, нужно обладать крепкими нервами», — пожаловался Квейк.

Мне знакомо это жутковатое чувство. Мой геном тоже был частично секвенирован и записан на лазерный диск для передачи канала BBC-TV/Discovery, которую я должен был вести. Врач взял у меня из руки немного крови и отправил ее в лабораторию Университета Вандербильта; через две недели оттуда почтой прислали CD-ROM, где были записаны тысячи моих генов. Даже держать этот диск в руках было как-то странно — ведь на нем была записана часть «чертежей», по которым построено мое тело. В принципе, на базе информации с этого диска можно было бы создать мою точную копию.

Будущее медицины

Надо сказать, что любопытство мое тоже было затронуто — ведь на этом диске были записаны многие тайны моего тела. К примеру, я получил возможность проверить, есть ли у меня один конкретный ген, который увеличивает вероятность болезни Альцгеймера. Это меня всегда беспокоило, поскольку моя мама умерла именно от этой болезни. (К счастью, у меня этого гена нет.)

Кроме того, четыре моих гена были сопоставлены с соответствующими генами тысяч других людей по всему миру, у которых также были взяты образцы для анализа. Затем на карте земного шара обозначили места проживания всех тех людей, которые обладают точно такими же, как я, копиями этих четырех генов. Точки на карте образовали длинный след, начинающийся у Тибета и затем протянувшийся через весь Китай в Японию. Я был поражен. Оказалось, что точки на карте показывают след древних миграций предков моей матери, протянувшийся в прошлое на тысячи лет. Мои предки не оставили записей о своих перемещениях в эти древние времена, но карта их передвижений, как ни странно, оказалась прочно вписана в мою кровь и ДНК. (Можно проследить и происхождение отца. Если митохондриальные гены передаются в неизменном виде от матери к дочери, то Y-хромосома, наоборот, передается от отца к сыну. Так что, анализируя эти гены, можно проследить за предками человека по материнской и отцовской линии.)

Мне представляется, что в недалеком будущем многие люди испытают такое же странное чувство, как и я, взяв в руки диск с «чертежами» своего тела и прочитав самые сокровенные его тайны, включая скрытые в геноме опасные болезни и древние миграционные маршруты предков.

Но для ученых все это — первые шаги новой области науки, получившей название биоинформатики. Ее основа — сканирование и анализ геномов тысяч живых организмов при помощи компьютеров. К примеру, если ввести в компьютер данные о геноме нескольких сотен человек, страдающих определенной

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

болезнью, может быть, получится вычислить точное расположение поврежденного участка ДНК. В настоящее время многие мощные компьютеры в мире задействованы именно в биоинформационных исследованиях и заняты анализом миллионов генов, содержащихся в растениях и животных, а также поиском среди них определенных ключевых генов.

При помощи биоинформатики можно было бы, к примеру, внести свежую струю в детективные телешоу, такие как «С.С.И.: место преступления». По крошечным кусочкам содержащих ДНК веществ (к примеру, волосьям луковицам, слюне или крови) можно было бы определять не только цвет волос, глаз, этническую принадлежность, рост и медицинскую историю конкретного человека, но, возможно, и его лицо. Сегодня полицейские художники могут воссоздать приблизительный скульптурный портрет жертвы преступления по черепу. Не исключено, что в будущем компьютер сможет реконструировать черты лица человека по каплям его крови или частицам перхоти. (Тот факт, что однояйцевые близнецы очень похожи внешне, означает, что черты лица человека в значительной степени определяются генетическими, а не внешними факторами.)

Визит к врачу

Как мы уже говорили, визит к врачу в будущем радикально поменяется. Общаясь с доктором посредством настенного интернет-экрана, вы, вероятно, будете иметь дело с компьютерной программой. В вашей ванной комнате будет установлено больше датчиков, чем в современной больнице, и они смогут без труда и шума обнаружить раковые клетки за несколько лет до возникновения опухоли. К примеру, около половины всех случаев обычного рака связаны с мутацией гена p53, которую можно без труда обнаружить при помощи таких датчиков.

При появлении первых признаков рака вам будет сделана инъекция специальных наночастиц, которые попадут в кровь

Будущее медицины

и, подобно умным бомбам, доставят противораковые лекарства непосредственно к месту расположения раковых клеток. Сегодняшняя химиотерапия покажется нам такой же примитивной, какими сейчас кажутся медицинские пиявки прошлого и позапрошлого веков. (Подробнее о нанотехнологии, ДНК-чипах, наночастицах и наноботах мы поговорим в следующей главе.)

Если «врач» на вашем настенном экране не сможет вылечить болезнь или травму какого-то органа, вы сможете вырастить для себя новый орган. На сегодняшний день только в США в очереди на пересадку различных органов «стоит» 91 000 человек. Все они ждут одного — чтобы нашелся донорский орган на замену. Каждый день 18 человек из этой очереди умирает, так и не дождавшись спасения.



Бруно Винсент (Bruno Vincent), Getty Images

В будущем у нас появятся трикордеры, как в «Звездном пути», которые смогут диагностировать почти любую болезнь; с изобретением портативных МРТ-сканеров и ДНК-чипов это станет вполне возможным

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

В будущем, если виртуальный врач обнаружит какое-то нарушение в одном из ваших органов, он сможет заказать новый орган, который будет выращен на специальной фабрике непосредственно из ваших собственных клеток.

Одной из самых «горячих» областей медицины на сегодня является так называемая «тканевая инженерия», цель которой — сделать возможной «мастерскую» по изготовлению запасных частей для человеческого тела.

Уже сейчас ученые умеют выращивать в лаборатории кожу, кровь, кровеносные сосуды, сердечные клапаны, хрящи, кости, носы и уши из собственных клеток человека. Первый серьезный орган — мочевой пузырь — был выращен в 2007-м, а первая трахея — в 2009 г. До сих пор получается выращивать только относительно простые органы, содержащие лишь несколько типов тканей и почти не структурированные. Можно предположить, что лет через пять удастся вырастить первую печень и поджелудочную железу, что будет иметь громадное значение для всей системы здравоохранения. Нобелевский лауреат Уолтер Гилберт в разговоре со мной сказал, что предвидит в недалеком будущем — всего через несколько десятилетий — такое время, когда можно будет вырастить из клеток практически любой орган.

Чтобы вырастить новый орган для конкретного человека методом тканевой инженерии, сначала необходимо получить некоторое количество клеток этого человека. Затем эти клетки вводят в пластиковую матрицу, которая по внешнему виду напоминает губку в форме нужного органа. Матрица изготавливается из биорассасывающегося полимера гликолевой кислоты. Кроме того, клетки обрабатывают определенными факторами роста, что стимулирует их развитие и рост внутри матрицы. Со временем матрица рассасывается, оставляя вместо себя желаемый орган.

Мне довелось побывать в лаборатории Энтони Аталы (Anthony Atala) в Университете Уэйк-Форест в Северной Каро-

Будущее медицины

лине и лично стать свидетелем применения этой технологии. Проходя по лаборатории Аталы, я видел бутылки с живыми человеческими органами. Я видел кровеносные сосуды и мочевые пузыри; я видел сердечные клапаны, которые непрерывно открывались и закрывались, потому что через них прокачивали различные жидкости. Вид живых органов, функционирующих в сосудах, вызывал ассоциации с лабораторией доктора Франкенштейна. Однако были и принципиальные различия. Тогда, в XIX в., медики не подозревали о существовании механизмов отторжения чужеродных тканей, которые так затрудняют пересадку органов. Кроме того, врачи не умели останавливать инфицирование, которое было неизбежным следствием любой хирургической операции. Поэтому Атала, вместо того чтобы создавать чудовищ, разрабатывает новую жизнеспасающую медицинскую технологию, которая когда-нибудь, возможно, полностью изменит сущность медицины.

Одна из целей его лаборатории — выращивание человеческой печени — может быть реализована в течение пяти лет. Вообще говоря, печень не так уж сложна и содержит в себе ткани лишь нескольких типов. Выращенная в лаборатории печень могла бы спасти тысячи жизней, в первую очередь тех, кто остро нуждается в пересадке этого органа. Она могла бы спасать и алкоголиков, страдающих циррозом. (К несчастью, эта технология может также побудить людей прочнее держаться за свои дурные привычки, ведь они будут знать, что смогут получить новый орган взамен поврежденного.)

Если некоторые органы человеческого тела, такие как трахея и мочевой пузырь, выращивать уже научились, то что мешает ученым вырастить все без исключения органы? Проблема, с одной стороны, заключается в выращивании крохотных капилляров, которые обеспечивают кровью клетки тканей, ведь кровь должна поступать к каждой клетке тела. Кроме того, существует проблема выращивания сложных структур. К примеру, почка, очищающая нашу кровь от токсинов, состоит из миллионов

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

мельчайших фильтров, и матрицу для этих фильтров создать будет очень нелегко.

Но наибольшие сложности при выращивании представляет другой человеческий орган — мозг. Хотя воссоздание или наращивание мозга — дело не ближайших десятилетий, не исключено, что, если ввести молодые клетки непосредственно в мозг, он подхватит их и включит в свою нейронную сеть. Такая инъекция, конечно, будет случайной, поэтому пациенту придется многие базовые функции осваивать заново. Но поскольку мозг «пластичен» — т. е. он постоянно, с каждой новой задачей, обновляет свою структуру и связи, — не исключено, что он действительно сможет безболезненно интегрировать новые нейроны и добиться, чтобы они правильно срабатывали.

Стволовые клетки

Следующий шаг — применение технологии стволовых клеток. На данный момент все человеческие органы выращиваются не из стволовых клеток, а из обычных, только специальным образом обработанных, чтобы они могли размножаться внутри матрицы. В ближайшем будущем, вероятно, можно будет непосредственно использовать здесь технологию стволовых клеток.

Стволовые клетки — это «мать всех клеток», они способны менять свою структуру и превращаться в клетки любого типа. Каждая клетка в нашем теле несет в себе полный генетический код, необходимый для строительства тела целиком. Однако по мере созревания клетки специализируются, так что многие гены в них становятся неактивными, как бы выключаются. В клетке кожи, к примеру, имеются все гены, необходимые для превращения в кровь, но они выключены; ненужные гены отключились в тот момент, когда зародышевая клетка стала взрослой клеткой кожи.

Зародышевые стволовые клетки всю свою жизнь сохраняют способность превращения в клетки любого типа. Ученые

Будущее медицины

ценят их выше, но одновременно вопрос работы с ними куда более противоречив, поскольку для извлечения таких клеток зародышем приходится жертвовать, а здесь, естественно, возникают этические вопросы. (Однако Ланца и его коллеги нашли новые способы, при помощи которых можно взять взрослые стволовые клетки, уже превратившиеся в клетки какого-то конкретного типа, и превратить их снова в зародышевые стволовые клетки.)

Потенциально при помощи стволовых клеток можно излечивать множество болезней, таких как диабет, сердечные заболевания, болезни Альцгеймера и Паркинсона и даже рак. Более того, трудно придумать болезнь, в лечении которой стволовые клетки не могли бы сыграть существенную роль. В частности, активные исследования в настоящее время идут в области лечения травм позвоночника и спинного мозга, которые когда-то считались совершенно неизлечимыми. В 1995 г., когда актер Кристофер Рив (Christopher Reeve) серьезно повредил позвоночник и остался парализованным, методов лечения таких травм не существовало. Однако в опытах на животных уже сегодня достигнуты огромные успехи в восстановлении спинного мозга при помощи стволовых клеток.

К примеру, Стивен Дэвис (Stephen Davies) из Университета Колорадо добился впечатляющих успехов в лечении травм спинного мозга у крыс. Он говорит: «Я провел несколько экспериментов, в которых мы пересаживали взрослые нейроны непосредственно во взрослую центральную нервную систему. Почти как у Франкенштейна. К нашему великому удивлению, мы обнаружили, что взрослые нейроны всего за неделю способны протянуть новые нервные волокна от одного конца мозга до другого». Ранее в лечении спинномозговых травм считалось, что любая попытка восстановления нервов вызовет сильнейшую боль и страдание. Однако Дэвис обнаружил, что ключевой тип нервных клеток, известный как астроцит, существует в двух вариантах, и их применение вызывает разные результаты.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Дэвис говорит: «Если использовать при восстановлении поврежденного спинного мозга правильные астроциты, мы получим результат без боли, тогда как клетки другого типа дадут боль без результата». Более того, он уверен, что та же техника применения стволовых клеток, которую он разрабатывает, будет полезна в лечении инсульта, а также болезней Альцгеймера и Паркинсона.

Поскольку из зародышевой стволовой клетки можно получить практически любую клетку тела, возможности здесь открываются безграничные. Однако Дорис Тейлор (Doris Taylor), директор Центра сердечно-сосудистых заболеваний при Университете Миннесоты, предостерегает от излишнего оптимизма и говорит, что работы впереди еще очень много. «Зародышевые стволовые клетки могут нести и добро, и зло, и уродство. Если они хорошие, их можно выращивать в больших количествах в лаборатории и использовать для создания тканей, органов или частей тела. Если они плохие, они не могут вовремя прекратить рост и образуют опухоли. Что касается уродства, то мы понимаем далеко не все и не можем контролировать результат, и мы не готовы использовать их без дополнительных лабораторных исследований», — замечает она.

Действительно, это одна из главных проблем, стоящих перед исследователями стволовых клеток: эти клетки, без внешних химических сигналов, иногда продолжают бешено размножаться и в конце концов перерождаются в раковые. Ученые уже понимают, что тонкие химические сигналы, курсирующие между клетками и сообщающие им, когда надо расти и когда пора прекратить рост, не менее важны, чем сами клетки. Тем не менее можно говорить о медленном, но стабильном прогрессе в этой области, особенно в опытах на животных. В 2008 г. имя Тейлор попало в заголовки газет: ее команда впервые в истории вырастила работающее мышинное сердце почти с нуля.

Эксперимент начался с того, что ученые взяли мышинное сердце и растворили все клетки внутри его, оставив только кар-

Будущее медицины

кас, белковую матрицу в форме сердца. Затем они поместили в эту матрицу смесь сердечных стволовых клеток. После этого осталось только наблюдать, как стволовые клетки размножаются внутри каркаса. Ученым и раньше удавалось вырастить отдельные сердечные клетки в чашке Петри, но впервые удалось вырастить в лаборатории живое бьющееся сердце.

Выращивание сердца стало для Тейлор и значимым личным событием. Она сказала: «Это великолепно. Можно увидеть все сосудистое дерево, от артерий до крошечных вен, снабжающих кровью все без исключения клетки сердца».

Одно из подразделений правительства США остро заинтересовано в скорейшем развитии тканевой инженерии, и это подразделение — Вооруженные силы США. В прежних войнах боевые потери армии были ужасающими, списочный состав целых полков и батальонов уменьшался разом на порядок, многие умирали от ран. Теперь медицинские эвакуотряды быстрого реагирования перевозят раненых из Ирака и Афганистана в Европу или Соединенные Штаты, где солдаты получают высококвалифицированную медицинскую помощь. Коэффициент выживания среди солдат резко вырос — и одновременно с этим резко выросло число солдат, потерявших руки или ноги. Вследствие этого приоритетной задачей армии США стал поиск способа выращивания частей тела на замену утраченным.

В Институте регенеративной медицины Вооруженных сил было сделано серьезное открытие, связанное с использованием совершенно нового метода выращивания органов. Ученые давно знали, что саламандры обладают замечательными способностями к регенерации и могут отращивать новые конечности взамен утраченных. Конечности отрастают заново, потому что стволовые клетки саламандры получают соответствующую команду. Исследованием одной из плодотворных теорий на сей счет занимается Стивен Бадилак (Stephen Badylak) из Университета Питтсбурга, которому удался эксперимент по отращиванию утраченных кончиков пальцев. Его команда разработала «эль-

фийский порошок», обладающий чудесной силой стимулировать рост тканей. Порошок этот изготавливается не из клеток, а из внеклеточной матрицы, существующей между клетками. Эта матрица играет решающую роль, поскольку в ней содержатся сигналы, которые доносят до стволовых клеток команду расти определенным образом. Если этим порошком посыпать отрезанный кончик пальца, он простимулирует восстановление не только самого пальца, но и ногтя, и в результате получится почти идеальная копия первоначального пальца. Таким образом, Бадилаку и его команде удалось нарастить на пальце до трети дюйма мягких тканей и ногтя. Следующая цель — продолжать этот процесс и посмотреть, отрастет ли под действием порошка целая человеческая конечность, как у саламандры.

Клонирование

Если можно выращивать отдельные органы человеческого тела, то нельзя ли вырастить целого человека — создать точную генетическую копию, клона? Ответ: да, в принципе можно, но пока этого никто не делал, несмотря на многочисленные сообщения.

Клоны — любимая тема голливудских фильмов, но там, как правило, о науке особенно не беспокоятся. В фильме «Шестой день» герой Арнольда Шварценеггера сражается с плохими парнями, которые каким-то образом овладели искусством клонирования человека. Что еще важнее, они придумали способ копировать личность вместе с памятью и вставлять все это в готового клона. Когда Шварценеггеру удается устранить одного плохого парня, на его место тут же встает другой, с той же личностью и теми же воспоминаниями. Ситуация еще больше усложняется, когда герой узнает, что без его ведома был создан его собственный клон. (На самом деле при клонировании животного память не копируется.)

Тема клонирования попала в заголовки мировых газет в 1997 г., когда Ян Вилмут из Рослинского института при Уни-

Будущее медицины

верситете Эдинбурга сумел клонировать овечку Долли. Он взял клетку взрослой овцы, извлек из нее ядро с содержащейся в нем ДНК и поместил это ядро в пустую яйцеклетку. Вилмут добился главного: создал генетическую копию оригинала. Я однажды спросил, думал ли он о том, какая медийная буря поднимется вокруг его исторического достижения. Он ответил: нет. Он ясно представлял медицинское значение своей работы, но серьезно недооценивал интерес публики к подобным событиям.

Вскоре научные группы по всему миру начали повторять эксперимент Вилмута. Было клонировано немало самых разных животных, включая мышей, коз, кошек, свиней, собак, лошадей и крупный рогатый скот. Я ездил со съемочной группой BBC на ферму Рона Маркесса (Ron Marquess) под Далласом (Техас). Там находится одно из крупнейших в стране хозяйств, где разводят клонированный скот. На ранчо Маркеса я с изумлением увидел клонированных животных первого, второго и даже третьего поколения — клонов клонов клонов. Маркес рассказал, что для обозначения разных поколений клонированного скота им придется придумывать новый словарь.

Одна группа животных привлекла мое внимание. В ней было около восьми совершенно одинаковых животных. Они ходили, бегали, ели и спали совершенно одинаково. Конечно, телята не знали, что являются клонами друг друга, но инстинктивно собирались вместе и во всем подражали друг другу.

Маркес рассказал мне, что клонирование скота — потенциально очень выгодный бизнес. Если у вас есть бык с великолепными физическими характеристиками, он может принести вам неплохой доход как производитель. Но когда бык умирает, его генетическая линия пропадает вместе с ним, если только вы не озаботились заранее собрать и заморозить сперму. Клонирование позволяет сохранять генетическую линию призового быка вечно.

Хотя клонирование, очевидно, найдет коммерческое применение в разведении самых разных животных, с применением

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

его к человеку все гораздо сложнее. Уже прозвучало несколько сенсационных сообщений об успешном клонировании человека, но, по всей видимости, все они пока безосновательны. До сих пор никому не удалось клонировать даже примата, не говоря уж о человеке. Даже клонирование животных пока представляет собой сложную операцию, и на каждый зародыш, которому удается достичь зрелости, приходится сотни дефектных.

Но даже если считать, что клонирование человека станет возможным, против него имеются серьезные социальные возражения. Во-первых, многие религии восстанут против клонирования человека, точно так же как в 1978 г., когда Луиза Браун стала первым в истории ребенком, зачатым в пробирке, католическая церковь восстала против внематочного оплодотворения. Это означает, что будут приняты законы, запрещающие клонирование человека или по крайней мере жестко его регулирующие. Во-вторых, коммерческий спрос на клонирование человека будет очень невелик. Как максимум, даже если эта операция станет законной, клоны составят совсем небольшую долю человечества. В конце концов, среди нас уже есть клоны в форме однояйцевых близнецов (и тройняшек), так что новизна этого явления будет весьма относительной и нездоровый интерес к нему со временем спадет.

Первоначальный спрос на детей из пробирки был огромен — ведь бесплодных пар очень много. Но кто захочет клонировать человека? Может быть, родители, оплакивающие смерть ребенка. Или, еще вероятнее, пожилой богач на смертном одре, не имеющий наследников — по крайней мере таких наследников, которым он захочет что-то оставить, — и мечтающий завещать все свои деньги возрожденному себе самому, чтобы начать все заново.

Так что в будущем, несмотря на возможные запрещающие законы, человеческие клоны, вероятно, появятся. Однако они составят лишь ничтожную долю человечества, и социальные последствия клонирования будут невелики.

Генная терапия

Фрэнсис Коллинз (Francis Collins), директор Национального института здравоохранения и человек, руководивший историческим правительственным проектом «Геном человека», рассказал мне, что «у каждого из нас имеется с полдюжины искореженных генов». В далеком прошлом человеку приходилось безмолвно страдать от этих часто смертельных генетических дефектов. В будущем, сказал он, мы сможем устранять многие из них при помощи генной терапии.

Генетические заболевания преследовали человечество с незапамятных времен, а в ключевые моменты истории, возможно, даже оказывали влияние на ее ход. Так, близкородственные браки среди царствующих фамилий Европы привели к тому, что наследственными генетическими болезнями страдали целые поколения знати. К примеру, Георг III Английский, скорее всего, страдал острой перемежающейся порфирией, которая вызывает временные приступы безумия. Некоторые историки считают, что это осложнило его отношения с североамериканскими колониями, подтолкнув их к объявлению в 1776 г. независимости от Англии.

Королева Виктория была носительницей гена гемофилии, вызывающего неконтролируемые кровотечения. У нее было девять детей, многие из которых вступили в брак с представителями других правящих домов Европы, таким образом эта «королевская болезнь» распространилась по всему континенту. В России правнук королевы Виктории Алексей, сын царя Николая II, страдал от гемофилии, которую, согласно легенде, умел временно облегчать загадочный Распутин. Этот «безумный монах» получил достаточно власти, чтобы парализовать русскую аристократию и задержать нужные стране реформы; как предполагают некоторые ученые, большевистская революция 1917 г. — отчасти его вина.

Однако в будущем генная терапия сможет излечить многие из 5000 известных генетических заболеваний, такие как

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

фиброзно-кистозная дегенерация (поражающая уроженцев Северной Европы), болезнь Тея-Сакса (поражающая восточноевропейских евреев) или серповидно-клеточная анемия (которой страдают афроамериканцы). Уже в ближайшем будущем можно будет излечивать многие генетические болезни из тех, что вызываются мутацией одного гена.

Генная терапия бывает двух типов: соматическая и генеративная.

Соматическая генотерапия предусматривает исправление поврежденных генов у одного конкретного человека. Со смертью пациента терапевтический эффект заканчивается. Более противоречива генотерапия второго типа — генеративная, где исправляются поврежденные гены, в том числе и половых клеток, так чтобы исправленный ген мог быть передан следующему поколению и сохранился надолго, почти навсегда.

Лечение генетического заболевания следует по долговому, но хорошо отработанному пути. Сначала необходимо найти людей, ставших жертвами определенного генетического заболевания, и тщательно проследить их родословные на много поколений назад. Анализируя гены пациентов, надо попытаться определить точное положение гена, который мог оказаться поврежденным.

Затем следует взять здоровую версию этого же гена и вживить ее в «вектор» (обычно это безвредный вирус), после чего ввести его пациенту. Вирус быстро вставляет «правильный ген» в клетки пациента и — потенциально — излечивает болезнь.

К 2001 г. начались или планировались испытания более чем 500 вариантов генной терапии. Но дело продвигается медленно, а испытания дают противоречивые результаты. Одна проблема состоит в том, что тело часто путает безвредный вирус, содержащий «правильный ген», с вирусом опасным и начинает атаку. При этом возникают побочные эффекты, которые могут свести на нет действие правильного гена. Другая проблема заключается в том, что далеко не всем вирусам удается корректно

Будущее медицины

встроить нужный ген в клетки человеческого тела, и клетки не могут производить нужный белок в необходимом количестве.

Несмотря на эти трудности, французские ученые объявили в 2000 г., что им удалось вылечить детей с тяжелым комбинированным иммунодефицитным синдромом (ТКИД) — детей, родившихся с неработоспособной иммунной системой. Некоторые из таких детей, подобно «Дэвиду, мальчику из пузыря», вынуждены всю жизнь провести в стерильном пластиковом пузыре. Любая инфекция может оказаться для них фатальной. Генетический анализ пациентов, подвергнутых генотерапии, показал, что в их иммунных клетках действительно появился новый ген, как и планировалось, в результате чего иммунная система детей заработала.

Но были и неудачи. В 1999 г. в Университете Пенсильвании пациент умер при испытании одного из методов генотерапии, и медицинскому сообществу пришлось переосмыслить свое отношение к подобным экспериментам. Эта смерть стала первой среди 1100 пациентов, участвующих в испытаниях генной терапии этого типа. А к 2007 г. выяснилось, что у четырех из десяти пациентов, вылеченных от одной конкретной формы ТКИД, развился серьезный побочный эффект — лейкомия. Теперь исследования в области генной терапии ТКИД сосредоточены на том, как вылечить болезнь и не активировать при этом случайно ген, способный вызвать рак. На сегодняшний день все семнадцать пациентов, страдавших другой разновидностью ТКИД и вылеченных средствами генной терапии, здоровы и не страдают ни ТКИД, ни раком. Это один из немногих бесспорно успешных результатов в этой области.

Рак и сам по себе является одной из главных мишеней генной терапии. Почти половина всех случаев обычного рака связана с повреждением одного гена, p53. Это длинный и сложный ген, что повышает вероятность его повреждения под воздействием окружающей среды или химических факторов. Проводится множество экспериментов, цель которых — ввести пациентам

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

здоровый ген p53. К примеру, известно, что табачный дым вызывает характерные мутации в трех хорошо известных зонах этого гена. Таким образом, если мы научимся заменять поврежденный ген здоровым, то однажды мы, скорее всего, сможем лечить определенные формы рака легких.

Прогресс в области генной терапии рака идет медленно, но верно. В 2006 г. ученые Национального института здравоохранения в Мэриленде сумели вылечить метастатическую меланому — форму рака кожи — при помощи генетически измененных Т-лимфоцитов (Т-киллеров), нацеленных специально на раковые клетки. Это первое исследование, доказывающее, что генную терапию можно использовать против некоторых форм рака. А в 2007 г. врачи Университи-колледжа и глазной больницы Мурфилдс в Лондоне смогли посредством генной терапии вылечить одну из форм наследственного заболевания сетчатки (вызываемого мутациями гена RPE65).

Тем временем некоторые супружеские пары не ждут появления методов генной терапии на рынке, а берут свою судьбу и свое генетическое наследие в собственные руки. При оплодотворении в пробирке пара может получить сразу несколько оплодотворенных зародышей. После этого каждый из зародышей можно проверить на конкретное генетическое заболевание, а затем выбрать и подсадить матери тот из них, который достоверно от него свободен. Таким образом, даже не используя дорогостоящих технологий и методов генной терапии, можно постепенно избавиться от значительного числа генетических заболеваний. Это уже делают некоторые ортодоксальные евреи в Бруклине, среди которых очень высок риск болезни Тея-Сакса.

Но можно сказать почти наверняка, что одна болезнь — рак — останется смертельно опасной на протяжении всего XXI в.

Сосуществование с раком

Еще в 1971 г. президент Ричард Никсон под фанфары, с большим шумом в прессе, торжественно объявил раку войну. Он считал,

Будущее медицины

что, если выделить на исследования достаточно денег, метод лечения быстро отыщется. Однако сорок лет (и 200 млрд долларов) спустя рак продолжает оставаться в США второй ведущей причиной смертности; именно это заболевание является причиной четверти всех смертей.

Смертность от рака за 55 лет, с 1950 по 2005 г., снизилась (с поправкой на возраст и другие факторы) всего лишь на 5%. Ожидается, что только в этом году рак унесет жизни 562 000 американцев — по полторы тысячи человек в день. По некоторым типам рака смертность снизилась, по другим упрямо держится на прежнем уровне. А методы лечения рака, при которых организм человека травят, кромсают и жгут, заставляют несчастных пациентов сомневаться в том, что в конечном итоге хуже — болезнь или ее лечение.

Задним числом мы, конечно, можем сказать, что именно было сделано неверно. Тогда, в 1971 г., до революции в генной инженерии, причина рака оставалась совершенной загадкой.

Теперь ученые понимают, что рак — это в первую очередь болезнь генов. Что бы ее ни вызывало — вирус, химические вещества, излучение или просто случайность, — в основе рака лежат мутации четырех или более наших генов, при которых нормальная клетка «разучивается умирать». Клетка теряет контроль над собственным воспроизведением и начинает беспредельно размножаться, со временем убивая пациента. Тот факт, что для запуска раковых процессов требуется последовательность из четырех или более дефектных генов, вероятно, объясняет, почему эта болезнь нередко убивает человека через несколько десятилетий после события, послужившего причиной ее возникновения. К примеру, человек может, будучи ребенком, сильно обгореть на солнце. Через много лет на этом самом месте у него может развиться рак кожи. Это означает, что за прошедшее время в клетке возникли дополнительные мутации, и их стало достаточно много, чтобы переключить клетку в раковый режим.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Существует по крайней мере два основных типа генов, имеющих отношение к раку, — это онкогены и гены — супрессоры опухолей. Онкоген действует как педаль газа в автомобиле, застрявшая в нижнем положении; машина при этом несется на полной скорости. Онкоген позволяет клетке размножаться без всяких ограничений. Ген-супрессор в нормальных условиях действует как тормоз в автомобиле; если он поврежден, клетка становится похожа на машину без тормозов.

Проект «Геном рака» нацелен на выявление последовательностей генов, критичных для разных видов рака. Если учесть, что каждый вид заболевания требует полного секвенирования человеческого генома, получится, что проект «Геном рака» в сотни раз амбициознее, чем первоначальный проект «Геном человека».

Кое-какие первые результаты этого долгожданного проекта, относящиеся к раку кожи и легких, были опубликованы в 2009 г. Результаты поразительны. Майк Страттон (Mike Stratton) из Института Сенгера сказал: «То, что мы наблюдаем сегодня, полностью изменит наши представления о раке. Мы никогда не видели рак в таком обнаженном виде».

В клетках легочной раковой опухоли было обнаружено поразительное количество — 23 000 — отдельных мутаций, а в раковой клетке меланомы — 33 000 мутаций. Это означает, что у среднего курильщика возникает одна мутация на каждые пятнадцать выкуренных сигарет. (Рак легких убивает ежегодно миллион человек по всему миру, в основном курильщиков.)

Цель проекта — провести генетический анализ всех типов рака, которых насчитывается больше 100. В теле человека множество типов тканей, любая из которых может обернуться раковой; более того, на каждый тип ткани приходится множество типов рака; при этом каждый тип рака — это десятки тысяч мутаций. Поскольку речь в каждом случае идет о десятках тысяч мутаций, ученым понадобится не одно десятилетие, чтобы определить в точности, какие из них вызывают сбой в клеточном механизме. Скорее всего, будут разработаны методы лече-

Будущее медицины

ния отдельных видов рака, но не будет одного общего подхода к лечению рака в целом, — ведь и сам рак представляет собой совокупность множества разных заболеваний.

На рынке будут появляться новые лекарства и методы лечения, разработанные для поражения молекулярных и генетических корней рака. Среди самых многообещающих методов:

- антиангиогенез, или перекрытие кровоснабжения опухоли, в результате которого ее рост прекращается;
- наночастицы, напоминающие «умные бомбы» и направленные непосредственно на раковые клетки;
- геновая терапия, особенно в отношении гена p53;
- новые лекарственные препараты, нацеленные на раковые клетки;
- новые вакцины против вирусов, способных вызывать рак, таких как вирус папилломы человека (HPV).

К несчастью, нам вряд ли удастся отыскать волшебную пилюлю от рака. Более вероятно, что нам придется проходить путь к лечению этого заболевания постепенно, шаг за шагом. Скорее всего, серьезное снижение смертности произойдет тогда, когда вся обстановка вокруг нас будет насыщена чипами, постоянно ведущими наблюдение и выявляющими раковые клетки задолго до того, как образуется настоящая опухоль.

Как отмечает нобелевский лауреат Дэвид Балтимор, «рак — это армия клеток, которые сражаются с любыми нашими способами лечения так, что, я уверен, мы никогда не сможем выйти из боя».

СЕРЕДИНА ВЕКА (2030–2070 гг.)

Геновая терапия

Несмотря на недостатки и неудачи генотерапии, исследователи уверены, что в ближайшие десятилетия эта область медицины

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

будет стабильно развиваться. Многие считают, что к середине века генотерапия станет обычным методом лечения целого ряда генетических заболеваний. Успехи, уже достигнутые учеными в экспериментах на животных, со временем распространятся и на человека.

До сих пор генная терапия была направлена лишь на болезни, вызываемые мутацией одного-единственного гена. Именно эти заболевания будут излечены первыми. Однако не секрет, что многие заболевания вызываются мутациями нескольких генов и, кроме того, действием определенных внешних факторов. Подобные болезни лечить намного труднее, но к ним относятся такие серьезные и распространенные заболевания, как диабет, шизофрения, болезни Альцгеймера и Паркинсона, а также многие сердечные заболевания. Все они имеют генетическую основу, но связаны с мутациями не одного, а нескольких генов. К примеру, бывает, что один из однояйцевых близнецов страдает шизофренией, а другой нормален.

Разные ученые уже не раз объявляли, что путем исследования генетической истории нескольких семей им удалось выделить гены, связанные с шизофренией. Однако результаты таких работ, как правило, невозможно проверить при помощи независимых исследований. Так что либо заявленные результаты в большинстве своем ошибочны, либо шизофрения связана со множеством разных генов. К тому же здесь, судя по всему, задействованы еще и внешние факторы.

К середине века генная терапия должна стать общепринятым методом лечения, по крайней мере для болезней, вызываемых повреждением одного гена. Но не исключено, что пациентам мало будет просто исправить дефектные гены. Вполне возможно, что они захотят их улучшить.

Дети по спецпроекту

К середине века ученые перейдут от простой починки сломанных генов к их усилению и улучшению.

Будущее медицины

Человеку испокон веков хотелось обрести сверхчеловеческие способности; в этом несложно убедиться, обратившись к греческим и римским мифам, а также заглянув в обычные наши сны. Великий герой Геракл, один из популярнейших греко-римских полубогов, получил свою невероятную мощь не в результате упорных занятий и правильного питания, а просто как сын божества — т. е. от божественных генов. Его мать, смертная красавица Алкмена, однажды удостоилась внимания Зевса, который вступил с ней в связь под видом ее собственного мужа. Когда она забеременела, Зевс объявил, что ребенок станет великим воином. Однако супруга Зевса Гера приревновала его к смертной и тайно решила умертвить ребенка, задержав его рождение. Алкмена чуть не умерла в муках во время долгих родов, но в последнюю минуту заговор Геры был раскрыт и у Алкмены родился необычайно крупный младенец. Наполовину человек, наполовину бог, Геракл унаследовал божественную силу отца и совершил множество героических, легендарных подвигов.

В будущем мы, может быть, и не научимся создавать божественные гены, но наверняка сможем создавать гены, которые обеспечат человеку сверхчеловеческие способности. Однако, подобно рождению Геракла, до появления такой технологии ученым предстоит преодолеть множество трудностей.

Тем не менее к середине века «дети по спецпроекту» могут стать реальностью. Как сказал гарвардский биолог Э. Уилсон, «*Homo sapiens*, первый истинно свободный вид, вскоре оставит позади естественный отбор — силу, создавшую нас... Скоро мы должны будем заглянуть глубоко в себя и решить, какими мы хотим стать».

Уже сегодня ученые понемногу начинают разбираться в генах, отвечающих за базовые функции организма. К примеру, в 1999 г. был выделен ген «умной мыши», заметно улучшающий память и сообразительность мышей. Мыши, обладающие таким геном, лучше проходят лабиринты и лучше запоминают.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Ученые Принстонского университета, в частности Джозеф Цянь (Joseph Tsien), создали линию генетически измененных мышей, у которых есть дополнительный ген под названием NR2B, помогающий запустить производство нейротрансмиттера N-метил-D-аспартата (NMDA) в передней части мозга мыши. Создатели умных мышей окрестили их Дуги-мышами (в честь героя юмористического телесериала маленького доктора Дуги Хаузера).

Умные мыши обгоняют обычных мышей по многим тестам. В одном эксперименте мышь помещают в емкость с непрозрачной водой, где она должна отыскать скрытую платформу, на которой можно отдохнуть. Обычная мышь каждый раз забывает, где находится эта платформа, и начинает беспорядочно плавать по бассейну, тогда как умная мышь с первой попытки плывет прямо к платформе. Если мыши показывают два объекта, старый и новый, то обычная мышь не обращает внимания на новый объект, а умная мгновенно замечает его присутствие.

Важнее всего то, что ученые понимают, как именно работают гены умной мыши: они регулируют синапсы мозга. Если представить себе мозг как разветвленную сеть платных дорог, то синапсы в ней играют роль пунктов взимания дорожных сборов. Если цена проезда слишком высока, машины не могут проехать; движение информации в мозгу прекращается. Но если цена невысока, машины могут проехать, а сообщения — пройти назначенным маршрутом. Нейротрансмиттеры, такие как NMDA, снижают «цену проезда» и облегчают прохождение сигналов через синапсы. У умной мыши две копии гена NR2B, которые способствуют производству нейротрансмиттера NMDA.

Умные мыши подтверждают правило Хебба: обучение происходит тогда, как в мозге усиливаются определенные нервные пути. Вообще говоря, эти пути можно усилить через регуляцию синапсов, соединяющих соответствующие нервные волокна, что облегчает прохождение сигналов через синапс.

Будущее медицины

Возможно, результаты этих исследований помогут объяснить некоторые особенности процесса обучения. Известно, что стареющие животные в значительной мере утрачивают способность к обучению. Это явление можно увидеть всюду в животном мире. Возможно, объясняется это тем, что ген NR2B с возрастом теряет активность.

Кроме того, согласно все тому же правилу Хебба, воспоминания закрепляются в мозгу, когда между нейронами возникают сильные связи. Возможно, это действительно так, поскольку активация рецептора NMDA как раз и создает сильные связи между нейронами.

Ген могучей мыши

Кроме «гена умной мыши» ученым удалось выделить «ген могучей мыши», который увеличивает мышечную массу и делает мышь похожей на переразвитого культуриста. Впервые этот ген был обнаружен у мыши с необычайно развитой мускулатурой. Теперь ученые понимают, что ключевыми здесь являются гены миостатина, задача которых — сдерживать рост мышц. В 1997 г. ученые обнаружили, что, если заблокировать у мыши ген миостатина, ее мышцы разовьются сильнее обычного.

Еще одно открытие было сделано вскоре после этого в Германии при исследовании новорожденного мальчика с необычайно развитыми мышцами бедер и плеч. Ультразвуковое исследование показало, что мышцы этого мальчика были вдвое больше нормальных. Секвенирование генов младенца и его матери (профессиональной спортсменки-спринтерши) выявило наличие похожих генетических структур. Более того, анализ крови мальчика показал полное отсутствие миостатина.

Ученые Медицинской школы при Университете Джонса Хопкинса решили связаться с пациентами, страдающими дегенеративными мышечными расстройствами, — полученные результаты могли оказаться для них полезными. Однако,

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

к сильному разочарованию ученых, половина телефонных звонков в их офис поступала от бодибилдеров, мечтавших о том, чтобы чудесный ген помог им нарастить громадные мускулы. Эти люди совершенно не думали о последствиях. Может быть, они вспоминали феноменальный успех Арнольда Шварценеггера, который признался, что в начале своей звездной карьеры не брезговал стероидами. Ген миостатина и способы его подавления вызвали такой общественный интерес, что даже Олимпийский комитет вынужден был создать специальную комиссию для выяснения всех обстоятельств. В отличие от стероидов, которые несложно обнаружить при помощи химических анализов, этот новый метод связан с генами и белками, за производство которых они отвечают, и обнаружить следы его применения гораздо сложнее.

Исследования однойцевых близнецов, разделенных сразу после рождения, показывают, что многие самые разные поведенческие черты обусловлены генетически. Вообще говоря, эти исследования показывают, что примерно на 50% поведение близнецов определяется генетикой, а другая часть — окружающей средой. Среди генетически обусловленных черт — память, вербальное и пространственное мышление, скорость обработки информации, экстраверсия и склонность к поиску острых ощущений.

В настоящее время даже формы поведения, которые прежде считались сложными, начинают раскрывать свои генетические корни. К примеру, степные полевки моногамны, а лабораторные мыши неразборчивы в связях. Ларри Янг из Университета Эмори потряс мир биотехнологий; он показал, что при помощи переноса одного гена степной полевки можно создать мышшь, которая будет демонстрировать моногамные черты. У каждого вида мышей своя версия определенного рецептора для одного из пептидов мозга, связанного с социальным поведением и поиском партнера. Янг ввел ген, отвечающий за производство этого рецептора, от степной полевки обычной мышши и обнаружил, что

Будущее медицины

мышь стала демонстрировать поведение, характерное скорее для моногамных полевок.

«Несмотря на то что в эволюции такой сложной социальной формы поведения, как моногамия, скорее всего, было задействовано множество генов, — говорит Янг, — изменение в экспрессии одного-единственного из них может заметно повлиять на экспрессию отдельных компонентов этой формы поведения, к примеру на поиск партнера».

Может оказаться, что депрессия и счастье тоже имеют генетические корни. Давно известно, что существуют люди, которые умеют оставаться счастливыми даже среди трагических событий. Они во всем видят светлую сторону и не пасуют перед проблемами, которые опустошают других людей. Как правило, такие люди к тому же отличаются завидным здоровьем. Гарвардский психолог Дэниел Гилберт (Daniel Gilbert) рассказал мне, что существует теория, которая все это объясняет. Согласно этой теории, у каждого из нас при рождении есть «опорная точка счастья». На протяжении жизни наше психологическое состояние, естественно, меняется, но средний уровень определяется генетически и задается при рождении. В будущем, возможно, ученые найдут способ сдвигать опорную точку при помощи лекарств или методов генотерапии; понятно, что особенно важно это для тех, кто страдает хронической депрессией.

Побочные эффекты биотехнологической революции

К середине века ученые сумеют выделить многие одиночные гены, контролирующие различные человеческие качества, и научатся воздействовать на них. Это не означает, однако, что достижения ученых сразу же принесут пользу человечеству. Впереди еще останется долгая и трудная работа по исключению побочных эффектов и нежелательных последствий, на которую может уйти не один десяток лет.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Вспомним, к примеру, Ахиллеса. Этот древний герой был неуязвим в бою и возглавлял победоносных греков в эпическом сражении с троянцами. Однако у его силы был фатальный недостаток. В свое время, чтобы сделать сына неуязвимым, мать окунула младенца Ахиллеса в воды волшебной реки Стикс. При этом она держала малыша за пятку, которая, к несчастью, не подверглась действию чудесных вод и осталась уязвимой. В результате в ходе Троянской войны Ахиллес был убит стрелой в пятку.

Сегодня ученые пытаются понять, нет ли у новых линий животных, создаваемых в генетических лабораториях, скрытой ахиллесовой пяты. К примеру, существует уже порядка 33 линий умных мышей с улучшенной памятью и сообразительностью. Однако есть и неожиданный побочный эффект: страх иногда буквально парализует умных мышей. Вероятно, это следствие улучшенной памяти. Если таких мышей подвергают чрезвычайно мягкому действию электрического тока, они дрожат от страха. «Создается впечатление, что они помнят слишком многое», — говорит Алчино Силва (Alcino Silva) из Университета Калифорнии в Лос-Анджелесе, создавший собственную линию умных мышей. Теперь ученые понимают, что для нормальной жизни в этом мире и организации знаний забывать так же важно, как помнить. Возможно, для оптимальной организации знаний нужно, чтобы мы вовремя избавлялись от большого количества информации.

История умных мышей напоминает один известный случай, имевший место в 1920-е гг. в России и описанный русским неврологом А.Р. Лурией. Это история человека с фотографической памятью. К примеру, «Божественную комедию» Данте этот человек, не зная языка, запомнил дословно с голоса после одного прочтения. Вообще, это качество очень помогало ему в работе — он был газетным репортером, — но вот с пониманием постоянно возникали проблемы. Лурия замечает: «Ошеломляющее число факторов мешало ему понимать прочитанное: каж-

Будущее медицины

дое выражение порождало образ; образы непрерывно конфликтовали между собой».

Ученые считают, что между забыванием и запоминанием должен быть определенный баланс. Если забывать слишком многое, можно, конечно, забыть боль предыдущих ошибок, но при этом забудутся также ключевые факты и умения. Если слишком многое помнить, то легко запоминать важные подробности, но непрощенная память о прошлых страданиях и неудачах может оказаться парализующей. Только разумное равновесие между двумя процессами может породить оптимальное отношение к жизни.

Бодибилдеры уже гонятся за всевозможными препаратами и методами, которые обещают им почет и славу. Гормон эритропоэтин (ЕРО), к примеру, действует за счет увеличения числа кислородосодержащих красных кровяных телец — эритроцитов, что повышает выносливость организма. Однако ЕРО сгущает кровь и потому может спровоцировать инсульт или сердечный приступ. Инсулиноподобные факторы роста (IGF) могут оказаться полезными, поскольку помогают белкам наращивать объем мышц, но ученые выявили их связь с ростом опухолей.

Даже если будут приняты законы, запрещающие генетические улучшения, остановить их будет очень трудно. Не следует забывать, что родители генетически запрограммированы эволюцией на то, чтобы дать своим детям все возможные преимущества. С одной стороны, это означает бесконечные уроки скрипки, балета и занятия спортом, но с другой — желание дать детям все возможные генетические улучшения — улучшенную память, внимание, атлетические способности и, возможно, даже внешность. Если родители обнаружат, что их ребенок в чем-то конкурирует с соседским (а тот, по слухам, был генетически улучшен), у них возникнет сильнейшее желание обеспечить своего ребенка теми же преимуществами.

Как сказал Грегори Бенфорд (Gregory Benford), «мы все знаем, что симпатичные люди в жизни добиваются большего.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Какие родители устоят перед искушением дать своему ребенку серьезное начальное преимущество в мире, где царит жесткая конкуренция?»

К середине века генетические улучшения могут стать обычным явлением. Более того, они могут стать необходимыми для дальнейшего исследования Солнечной системы и жизни на негостеприимных планетах.

Одни говорят, что «заказные» гены нужны, чтобы сделать нас более здоровыми и счастливыми. Другие — что следует разрешить косметические улучшения. Главный вопрос заключается в том, насколько далеко при этом можно зайти. Во всяком случае, контролировать распространение «заказных» генов, улучшающих внешний вид и способности, будет все труднее. Мы не хотим, чтобы род человеческий разделился на генетические фракции — улучшенных и неулучшенных, — но обществу придется решать демократическим путем, насколько далеко следует развивать эту технологию.

Лично я считаю, что будут приняты законы, регулирующие применение генетических методов; возможно, разрешено будет пользоваться генной терапией для лечения болезней и улучшения состояния здоровья, что позволило бы человеку вести продуктивную жизнь, но жестко ограничено применение ее в чисто косметических целях. Это означает, по всей видимости, что со временем появится черный рынок, где можно будет приобрести соответствующие услуги в обход закона; так или иначе, человечеству придется приспосабливаться к ситуации, когда некоторая часть населения будет генетически модифицированной.

Скорее всего, в большинстве случаев это не станет катастрофой. Уже сегодня можно пользоваться пластической хирургией для улучшения внешности, так что генетическая инженерия в этой области может и не понадобиться. Но кто-нибудь может попытаться изменить таким образом собственную личность. Вероятно, поведение человека определяется множеством генов, которые взаимодействуют между собой

Будущее медицины

сложным образом, так что игры с бихевиоральными генами могут вызвать непредусмотренные побочные эффекты. Чтобы разобраться в них, потребуются десятки лет.

Но что же можно сказать о самом главном генетическом улучшении — о продлении срока человеческой жизни?

ДАЛЕКОЕ БУДУЩЕЕ (2070–2100 гг.)

Обратить время вспять

В истории человечества были люди — короли и вожди, — которые обладали властью над целыми империями. Но была одна вещь, над которой никто не был властен. Речь идет о возрасте, о старении. Неудивительно, что поиск бессмертия — одна из старейших задач человечества.

В Библии Бог изгоняет Адама и Еву из Эдема за то, что люди нарушили его запрет и попробовали яблоко познания. Бог опасался, что Адам и Ева могут воспользоваться запретными знаниями, разгадать тайну бессмертия и сравняться с богами. В книге Бытия (3:22) говорится: «Вот, Адам стал как один из нас, зная добро и зло; и теперь как бы не простер он руки своей, и не взял также от дерева жизни, и не вкусил, и не стал жить вечно».

Помимо Библии, эта тема рассматривается и в других древних памятниках. К примеру, это «Сказание о Гильгамеше» — легенда о великом герое Месопотамии, относящаяся примерно к 2700 г. до н.э. Когда внезапно умер его давний и верный товарищ, Гильгамеш решил отправиться в путешествие и разгадать тайну бессмертия. Он слышал, что одному мудрому человеку и его жене боги даровали бессмертие и что только эти люди в их краях пережили Великий потоп. После эпического, полного приключений путешествия Гильгамеш нашел в конце концов разгадку тайны бессмертия и увидел, как в последний миг ее утащила змея.

«Сказание о Гильгамеше» — одно из древнейших литературных произведений, и историки считают, что описанный

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

в нем поиск бессмертия послужил источником вдохновения для Гомера, автора «Одиссеи», и для библейского сюжета о Всемирном потопе.

Многие древние цари — как император Цинь, объединивший Китай около 200 г. до н.э., — отправляли громадные флотилии на поиски Фонтана юности, но успеха не добились. (По легенде, император Цинь не велел своей флотилии возвращаться без тайны бессмертия. Моряки не смогли отыскать Фонтан юности, но побоялись вернуться с известием о неудаче и вместо этого основали Японию.)

Ученые долгое время считали, что продолжительность жизни фиксирована и неизменна и что науке не под силу что-либо здесь изменить. Однако в последние годы это убеждение рухнуло под напором поразительных экспериментальных данных; в этой области произошла настоящая революция. Если в прежние времена геронтология представляла собой тихую заводь в бурной реке биологической науки, то теперь это одно из наиболее активно развивающихся направлений. На исследования в этой области тратятся сотни миллионов долларов, и уже близки, похоже, первые коммерческие результаты.

В настоящее время ученые разгадывают глубочайшие тайны процессов старения, и генетика призвана сыграть в этом процессе не последнюю роль. В животном царстве мы встречаем самую разную продолжительность жизни. К примеру, наша ДНК отличается от ДНК наших ближайших генетических родственников, шимпанзе, всего на 1,5%, но живем мы в полтора раза дольше. Возможно, анализ горсточки генов, отделяющих нас от этих приматов, поможет нам разобраться, почему человек живет настолько дольше, чем шимпанзе.

Так возникла «универсальная теория старения», соединившая отдельные нити исследований в единое логически последовательное полотно. Ученые теперь знают, что представляет собой старение: это накопление ошибок на генетическом и клеточном уровне. Ошибки накапливаются различными путями.

Будущее медицины

К примеру, обмен веществ порождает свободные радикалы и окислительные процессы, нарушающие тонкую молекулярную механику наших клеток и вызывающие старение; ошибки могут накапливаться в виде молекулярных обломков, которые скапливаются внутри и снаружи клеток.

Накопление генетических ошибок — побочный продукт Второго начала термодинамики: полная энтропия системы (т. е. хаос) всегда возрастает. Именно поэтому ржавление, гниение, разложение и тому подобные процессы — универсальная черта всякой жизни. Второе начало незыблемо. Все в мире, начиная от полевых цветов и наших тел до самой Вселенной, обречено на старение и умирание.

Однако в законе имеется маленькая, но очень важная лазейка; в нем утверждается, что *полная* энтропия системы всегда возрастает. Это означает, что на самом деле можно уменьшить энтропию и повернуть процесс старения вспять в одном месте — если, конечно, где-то в другом месте энтропия при этом возрастет. Можно помолодеть за счет того, что где-то что-то при этом будет разрушено. (Именно на это намекает известный роман Оскара Уайльда «Портрет Дориана Грея». Мистер Грей загадочным и волшебным образом оставался вечно молодым. Его секрет заключался в том, что старел за него — причем ужасно старел — его чудесный портрет. Так что в целом старение продолжалось.) В действии принципа энтропии можно убедиться также, заглянув за холодильник. Внутри холодильника энтропия уменьшается с падением температуры. Но чтобы ее понизить, нам приходится задействовать специальный двигатель, который усиливает выделение тепла с задней стороны холодильника и тем самым увеличивает энтропию снаружи. Вот почему холодильник сзади всегда теплый.

Как однажды сказал нобелевский лауреат Ричард Фейнман, «в биологии пока не обнаружено ничего, что указывало бы на неизбежность смерти. Поэтому мне представляется, что смерть вовсе не неизбежна и что придет время, когда биологи обна-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

ружат, что вызывает наши проблемы, и что жуткая всеобщая болезнь бренности человеческого тела будет излечена».

Действие Второго начала можно проследить на примере женского полового гормона эстрогена, который поддерживает в женщинах молодость и энергию до наступления менопаузы; после этого процесс старения ускоряется и смертность резко возрастает. Эстроген действует на женский организм примерно так, как действует высокооктановый бензин на спортивный автомобиль. Машина прекрасно работает, но лишь за счет дополнительного износа двигателя. У женщин клеточный износ может проявиться через рак груди. В самом деле, известны случаи, когда инъекции эстрогена ускоряли развитие рака груди. Так что за молодость и энергию до менопаузы женщины, вполне возможно, расплачиваются ростом полной энтропии — и, во многих случаях, раком груди. (Существуют десятки теорий, объясняющих недавний рост заболеваемости раком груди, но до конца причина этого явления неясна. Одна из теорий говорит, что отчасти это связано с полным числом менструальных циклов у женщины. В древности женщины после взросления и до самой менопаузы почти непрерывно ходили беременные, а вскоре после наступления менопаузы умирали. Это означало, что менструальных циклов у них было немного, а уровень эстрогена невысок; может быть, именно с этим был связан относительно низкий в те времена уровень заболеваемости раком груди. Сегодня девочки созревают раньше, переживают множество менструальных циклов и заводят в среднем всего по 1,5 ребенка; кроме того, они переживают менопаузу и поэтому значительно больше подвергаются действию эстрогена, что, возможно, и ведет к росту числа случаев рака груди.)

Недавно была открыта целая серия многообещающих фактов о генах и старении. Во-первых, исследователи показали, что можно получить целые поколения животных, которые будут жить заметно дольше обычных. В частности, это явление было продемонстрировано на дрожжевых грибах, червях-

Будущее медицины

нематодах и плодовых мушках, которые в лабораториях жили дольше обычного. Научный мир был поражен, когда Майкл Роуз (Michael Rose) из Университета Калифорнии в Ирвине объявил, что ему удалось путем обычной селекции увеличить продолжительность жизни плодовых мушек на 70%. У его «супермух», или мух-долгожителей, было обнаружено большое количество особого антиоксиданта — супероксиддисмутазы (SOD), способного снижать вред, наносимый свободными радикалами. В 1991 г. Томас Джонсон (Thomas Johnson) из Университета Колорадо в Боулдере выделил ген, который он назвал AGE-1 и который, похоже, отвечает за старение у нематод и увеличивает продолжительность жизни этих червей на 110%. «Если у людей есть что-то, подобное гену AGE-1, мы, возможно, и правда сможем добиться заметных результатов», — заметил он.

К настоящему моменту ученые выделили немало генов (AGE-1, AGE-2, DAF-2), контролирующих и регулирующих процесс старения у низших организмов, но аналоги этих генов присутствуют и в геноме человека. Один ученый заметил, что изменить продолжительность жизни дрожжевых грибков почти так же просто, как включить свет, щелкнув выключателем. Если активировать определенный ген, дрожжевые клетки живут дольше. Если его заблокировать, они, соответственно, живут меньше.

Разводить дрожжи, которые будут жить дольше обычного, очень просто; неизмеримо сложнее «разводить» людей, которые и без того живут так долго, что испытать данный метод практически невозможно. Однако выделение генов, ответственных за старение, в будущем, возможно, ускорится, особенно после того, как у каждого из нас появится диск с полной записью генома. К этому моменту ученые успеют накопить громадные базы данных по миллиардам самых разных генов для дальнейшего компьютерного анализа. Можно будет просмотреть и сравнить миллионы геномов детей и стариков. Сравнительный анализ этих двух возрастных групп позволит точно определить, как и где происходит старение на генетическом уровне. Даже самое предва-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

рительное сканирование помогло выделить около шестидесяти генов, в которых, судя по всему, сосредоточено старение.

К примеру, ученые давно знают, что долгожительство — в некоторой степени семейная черта. Как правило, родители тех, кто живет долго, тоже жили долго. Эффект не слишком заметен, но он есть и его можно измерить. Ученые, наблюдающие за разделенными при рождении однояйцевыми близнецами, видят это на генетическом уровне. Но ожидаемая продолжительность жизни человека определяется не только генами; по мнению ученых, доля генов здесь составляет лишь 35%. В будущем, когда каждый сможет за 100 долларов получить личный геном, можно будет статистически проанализировать при помощи компьютера геномы миллионов людей и выделить конкретные гены, определяющие, хотя бы частично, продолжительность жизни человека.

Компьютерные исследования, вполне возможно, помогут ученым определить в точности, где в геноме в первую очередь происходит старение. В автомобиле, как известно, износ в основном затрагивает двигатель, цилиндры, где окисляется и сгорает бензин. Точно так же генетический анализ показывает, что старение сосредоточено в первую очередь в «двигателе» клетки — в митохондриях, или энергетической станции клетки. Этот факт позволил ученым сузить поле поисков «гена старения»; кроме того, интересно, нельзя ли ускорить восстановительные процессы в митохондриях и тем самым повернуть время вспять.

К 2050 г. ученые, возможно, научатся замедлять процесс старения при помощи самых разных методов: это и терапия стволовыми клетками, и запасные части для человеческого тела, и генная терапия для ремонта и приведения в порядок стареющих генов. Человек сможет жить до 150 лет или даже дольше. К 2100 г., возможно, ученые научатся обращать вспять процессы старения при помощи активизации механизмов восстановления клетки, и тогда продолжительность жизни человека вырастет в несколько раз.

Ограничим калорийность

Ученые активно занимаются поисками теории, которая объяснила бы один странный факт: ограничение калорийности (т. е. уменьшение количества съедаемых нами калорий на 30% или более) увеличивает продолжительность жизни на 30%. Это необычное явление можно наблюдать у всех изученных до сих пор организмов — от дрожжевых клеток, пауков и насекомых до кроликов, собак, а теперь и обезьян. У животных, получающих низкокалорийную пищу, реже возникают опухоли, они реже страдают сердечными заболеваниями, диабетом и специфическими старческими болезнями. Более того, ограничение калорийности питания — *единственный* известный механизм, который гарантированно увеличивает продолжительность жизни; это подтверждают многочисленные эксперименты, проводившиеся с самыми разными представителями животного мира, и исключений пока не обнаружено. До последнего времени единственной крупной группой животных, на которых не проводились эксперименты по низкокалорийному питанию, оставались приматы, к которым принадлежим и мы сами; причина прозаична — приматы живут долго, и эффект трудно обнаружить.

Ученым особенно не терпелось увидеть результаты такого эксперимента на макаках-резусах, и наконец в 2009 г. эти долгожданные результаты были опубликованы. Исследования, проведенные Университетом Висконсина, показали, что после двадцати лет низкокалорийного питания у обезьян подопытной группы в среднем наблюдается меньше заболеваний: меньше диабета, рака, сердечных нарушений. В целом состояние здоровья подопытных обезьян заметно лучше, чем обезьян контрольной группы, питавшихся обычно.

Существует теория, которая могла бы объяснить этот эффект. Согласно этой теории, природа предоставляет животным «выбор» из двух вариантов использования энергии. Во времена

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

изобилия энергия используется в основном на продление рода, а в скудные времена тело «забывает» о размножении, начинает экономить энергию и ждать конца голодных времен. В животном царстве полуголодное существование в порядке вещей, поэтому им часто приходится делать «выбор» в пользу жизни, прекращать размножение, замедлять обмен веществ, жить дольше и ждать наступления лучших дней.

Заветная цель геронтологических исследований — сохранить каким-то образом положительные стороны низкокалорийного питания без его недостатков (голодания). Судя по всему, для человека естественно набирать, а не сбрасывать вес. Вообще, жить на низкокалорийной диете не слишком приятно: приходится есть вещи, от которых отказался бы даже отшельник. Кроме того, животные, получающие особенно суровую ограниченную диету, становятся сонными, малоподвижными и теряют интерес к сексу. Но ученые упорно продолжают поиски гена, управляющего этим механизмом; может быть, мы все же найдем способ пользоваться плодами низкокалорийного питания без отрицательных его сторон.

Важное открытие в связи с этим сделали в 1991 г. исследователь из MIT Леонард Гуаренте (Leonard P. Guarente) и его коллеги, занимавшиеся поиском гена, который мог бы увеличить продолжительность жизни дрожжевых клеток. Гуаренте и Дэвид Синклер (David Sinclair) из Гарварда с коллегами обнаружили, что в реализации эффектов низкокалорийного питания задействован ген SIR2. Этот ген отвечает за поиск в клетке энергетических резервов, и его активация происходит в периоды, когда энергия клетки истощается. Именно такого поведения можно ожидать от гена, контролирующего эффект от низкокалорийного питания. Кроме того, ученые обнаружили, что в геноме мыши и человека тоже имеются аналоги гена SIR2, известные как SIRT-гены; эти гены отвечают за производство белков сиртуинов. Затем ученые занялись поисками химических веществ, активирующих сиртуины, и нашли ресвератрол.

Будущее медицины

Находка заинтриговала ученых, ведь вполне возможно, что именно это вещество обеспечивает полезность красного вина и даже объясняет «французский парадокс». При том что Франция знаменита на весь мир густыми соусами, богатыми насыщенными жирами, французы живут ничуть не меньше других. Возможно, эту загадку можно объяснить тем, что французы пьют много красного вина, в котором содержится ресвератрол.

Ученые обнаружили, что активаторы сиртуинов способны защитить мышей от впечатляющего набора болезней, среди которых рак легких и прямой кишки, меланома, лимфома, диабет II типа, сердечно-сосудистые заболевания и болезнь Альцгеймера (об этом говорят исследования Синклера). Если хотя бы небольшую часть из перечисленных заболеваний у человека получится лечить при помощи сиртуинов, это будет означать революцию в медицине.

Недавно была предложена теория, объясняющая замечательные свойства ресвератрола. Синклер утверждает, что главная задача сиртуинов — предотвратить активацию некоторых конкретных генов. Если вспомнить, что хромосомы одной единственной человеческой клетки в распрямленном виде вытянулись бы почти на два метра, станет понятно, что хромосома — астрономически длинная молекула. В любой конкретный момент для жизнедеятельности организма необходима лишь небольшая часть от огромного числа генов, из которых строится хромосома; все остальные гены в это время должны быть неактивны. Клетка глушит большую часть не нужных в данный момент генов, плотно упаковывая хромосому в хроматин, для регуляции плотности которого, собственно, и нужен сиртуин.

Иногда, однако, в тонком механизме хромосом возникают катастрофические нарушения: к примеру, рвется одна из нитей двойной спирали. Тогда сиртуины вступают в действие и помогают привести поврежденную хромосому в порядок. Но при этом им приходится оставлять свой пост и временно прекращать основную работу по обеспечению «молчания» генов.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Гены активируются не вовремя, порождая генетический хаос. Подобные срывы, по мнению Синклера, представляют собой один из основных механизмов старения.

Если это правда, то сиртуинам под силу не только приостановить старение, но и обратить его вспять. Поврежденную ДНК в наших клетках чинить и возвращать в исходное состояние очень непросто. Но Синклер считает, что старение организма вызывается в основном тем, что сиртуины отвлекаются от своей главной задачи и тем самым допускают дегенерацию клеток — а с этим уже можно бороться.

Фонтан юности?

Это открытие, однако, произвело и отрицательный побочный эффект: оно послужило поводом для настоящего шабаша в средствах массовой информации. Внезапно о ресвератроле заговорили в популярнейших телешоу «60 минут» и «Шоу Опры Уинфри», в Интернете возник ажиотаж, и как грибы после дождя повывлезли всякие сомнительные компании, обещающие эликсир жизни уже завтра. Возникло впечатление, что все шарлатаны и продавцы счастья спешили вскочить на подножку уходящего поезда и «присосаться» к ресвератролу.

(У меня была возможность поговорить с Гуаренте, человеком, который дал повод ко всем этим медиапляскам, в его лаборатории. Он был очень осторожен в выводах, так как понимал, как могут отреагировать на его результаты средства массовой информации и какие ошибочные представления и надежды все это может породить в людях. В частности, его очень тревожило появление в Интернете множества сайтов, где ресвератрол рекламировали как какой-то Фонтан юности. Отвратительно, заметил он, как люди пытаются нажиться на неожиданной славе ресвератрола, хотя результаты пока не слишком надежны. Однако он не стал бы исключать вероятность того, что однажды, если Фонтан юности будет-таки найден — если, конечно,

Будущее медицины

такая вещь вообще существует, — SIR2 сыграет в этом открытии не последнюю роль. Кстати говоря, коллега Гуаренте Синклер признается, что принимает ресвератрол каждый день, и в больших количествах.)

Интерес к геронтологическим исследованиям в ученом обществе так велик, что в 2009 г. Медицинская школа Гарвардского университета спонсировала проведение конференции, собравшей значительное число ведущих исследователей в этой области. В аудитории было немало тех, кто лично придерживается принципов низкокалорийного питания. Эти люди выглядят хрупкими и истощенными, но у них есть конкретная цель: они испытывают свою научную философию на себе, ограничивая себя в питании. Кроме того, они принадлежат к Клубу 120 — объединению тех, кто намерен дожить до 120 лет. Особый интерес привлекала компания Sirtris Pharmaceuticals, основанная Дэвидом Синклером и Кристофом Вестфалом (Christoph Westphal); в настоящее время несколько разработанных в компании заменителей ресвератрола проходят клинические испытания. Вестфал заявил прямо: «Через пять, шесть или семь лет появятся лекарства, способные продлить человеку жизнь».

Химические вещества, которых всего несколько лет назад просто не существовало в природе, становятся объектом пристального внимания и проходят клинические испытания. SRT501 испытывается как средство против множественной миеломы и рака прямой кишки, SRT2104 — против диабета II типа. Различные группы ученых тщательно исследуют и анализируют не только сиртуины, но и большое количество других генов, белков и химических веществ (включая IGF-1, TOR и рапамицин).

Только время покажет, будут ли проводимые клинические испытания успешными. В истории медицины было немало обмана, шарлатанства и мошенничества, особенно в том, что имеет непосредственное отношение к процессу старения. Но наука, в отличие от суеверия, строится на прочном фундаменте воспроизводимых, проверяемых и опровержимых дан-

ных. В настоящее время Национальный институт старения принимает программы тестирования различных веществ в плане их влияния на процесс старения; увидим, будут ли исследования на животных, давшие столь интригующие результаты, продолжены на людях.

Должны ли мы умирать?

Уильям Хэзелтайн (William Haseltine), пионер биотехнологий, однажды сказал мне: «Природа жизни — не смерть. Это бессмертие. ДНК — бессмертная молекула. Впервые она появилась, скажем, 3,5 млрд лет назад. Та же самая молекула, через многократное дублирование, существует и сегодня... Правда, мы изнашиваемся, но мы уже говорили о том, что в отдаленном будущем человек сможет это изменить. Сначала — увеличить продолжительность жизни вдвое или втрое. А затем, возможно, если мы сумеем достаточно хорошо понять собственный мозг, продлить существование нашего тела и нашего мозга до бесконечности. И я не думаю, что это будет неестественный процесс».

Эволюционные биологи указывают, что эволюционному давлению животные подвергаются в репродуктивном возрасте. После этого животное, вообще говоря, становится обузой для группы; возможно, именно поэтому эволюция запрограммировала так, что животные умирают от старости. Так что мы, вполне возможно, запрограммированы умереть. Однако что, если нам удастся перепрограммировать себя и получить возможность жить дольше?

В самом деле, если посмотреть, к примеру, на млекопитающих, то обнаружится: чем крупнее животное, тем медленнее у него протекают процессы обмена веществ и тем дольше оно живет. Мыши сжигают громадное количество пищи на единицу веса тела и живут всего лишь около четырех лет. Слоны обладают гораздо более медленным обменом веществ и живут до семидесяти лет. Если метаболизм связан с накоплением ошибок,

Будущее медицины

то этот факт, очевидно, согласуется с мнением о том, что дольше живет тот, у кого процессы обмена протекают медленнее. (Такая точка зрения может объяснить поговорку «жечь свечу с обоих концов». Я когда-то читал рассказ о духе, который пообещал человеку выполнить любое его желание. Тот захотел прожить 1000 лет. Дух исполнил желание очень просто: превратил его в дерево.)

Эволюционные биологи пытаются объяснить среднюю продолжительность жизни представителей того или иного вида с позиций эволюционного преимущества: долголетие особей может помочь виду выжить в окружающем мире. С их точки зрения, продолжительность жизни определяется генетически, помогая виду выживать и распространяться. Мыши, по их мнению, живут так недолго потому, что на них постоянно охотятся многочисленные хищники, а зимой они часто замерзают насмерть. Передать свои гены следующему поколению смогут те мыши, у которых будет больше детенышей, а не те, что проживут дольше. (Если эта теория верна, следует ожидать, что, если бы мыши умели каким-то образом улетать от хищников, они бы жили дольше. В самом деле, летучие мыши, по размеру примерно соответствующие обычным мышам, живут в 3–5 раз дольше.)

Единственная известная аномалия в этом смысле наблюдается у пресмыкающихся. Судя по всему, у некоторых из них срок жизни ничем не ограничен (по крайней мере нам такое ограничение неизвестно). Не исключено даже, что они могут жить вечно. Аллигаторы и крокодилы с возрастом не перестают расти и становятся все больше и больше, не теряя при этом ни силы, ни энергии. (В учебниках часто пишут, что аллигаторы живут только до семидесяти лет. Но дело, скорее всего, в том, что именно в этом возрасте умер смотритель зоопарка, знакомый с данной особью с детства. В других учебниках честно говорится, что эти существа живут больше семидесяти лет, но точно в лабораторных условиях никто не проверял.) На самом деле эти животные вовсе не бессмертны, они гибнут от несчаст-

ных случаев, голода, болезней и т. п. Но если держать крокодила в неволе и хорошо кормить, он будет жить очень долго, чуть ли не вечно.

Биологические часы

Еще один интересный факт исходит от теломер клетки, играющих роль «биологических часов». Как шнурки на обуви заканчиваются с обоих концов пластиковыми защитными наконечниками, так хромосомы в клетках заканчиваются теломерами. После каждого цикла деления клетки эти защитные кончики становятся все короче и короче. Со временем, через шестьдесят или около того циклов деления (для клеток кожи) теломеры просто заканчиваются и пропадают. После этого клетка вступает в пору старения и перестает правильно работать. Так что теломеру можно сравнить с куском запального шнура в бруске динамита. Если запальный шнур с каждым делением становится все короче и короче, со временем он исчезнет — и клетка прекратит делиться.

Это свойство клетки называется пределом Хейфлика. Судя по всему, этот предел ограничивает сверху продолжительность жизни определенных клеток. У раковых клеток, к примеру, нет предела Хейфлика; кроме того, они производят фермент под названием теломеразы, который не дает теломерам укорачиваться с каждым делением.

Фермент теломеразы можно синтезировать. Если применить полученный препарат к клеткам кожи, они, судя по всему, получают возможность делиться до бесконечности. По существу, они становятся бессмертными.

Однако здесь существует и опасность. Раковые клетки тоже бессмертны, они делятся внутри опухоли до бесконечности. Вообще говоря, именно в этом заключается опасность рака — его клетки делятся до тех пор, пока тело не теряет способность функционировать. Так что прежде чем испытывать теломеразу

Будущее медицины

на людях, этот фермент необходимо тщательно изучить. При испытании любого метода лечения с использованием теломеразы, направленного на «починку» и «завод» биологических часов, необходимо тщательно проверить, не обладает ли она канцерогенным действием.

Бессмертие плюс вечная молодость

Для одних перспектива серьезного продления человеческой жизни — источник искренней радости, для других — ужас; стоит подумать о перенаселении и обществе, состоящем из ветхих стариков, которые быстро разорят страну, и действительно становится страшно.

На самом деле комбинация биологических, механических и нанотехнологических методов может не только увеличить продолжительность жизни, но и сохранить при этом человеку молодость. Роберт Фрейтас (Robert A. Freitas Jr.), работающий над применением нанотехнологий в медицине, сказал: «Всего через несколько десятилетий такое вмешательство может стать обычным. Ежегодная проверка и чистка, а иногда и серьезные восстановительные операции позволят раз в год приводить биологический возраст человека к более или менее постоянному физиологическому возрасту, который человек сам выберет. Конечно, со временем вы все равно, может быть, умрете или погибнете от случайных причин, но вы проживете по крайней мере в десять раз дольше, чем живут люди сегодня».

В будущем продление жизни не будет связано с черпанием воды из сказочного Фонтана юности. Более вероятно, что это будут проделывать при помощи комбинации нескольких методов:

- 1) выращивание новых органов по мере износа или поражения старых при помощи тканевой инженерии и стволовых клеток;

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

- 2) прием коктейля из белков и ферментов, предназначенных для ускорения восстановительных механизмов клетки, регулирования обмена веществ, перезапуска биологических часов и ослабления процессов окисления;
- 3) использование генной терапии для доработки генов, способных замедлить процессы старения в организме;
- 4) поддержание здорового образа жизни (физическая нагрузка и качественная диета);
- 5) использование нанодатчиков для распознавания таких заболеваний, как рак, за несколько лет до того, как они превратятся в проблему.

Население, пища и загрязнение окружающей среды

Один вопрос не дает покоя: если ожидаемую продолжительность жизни можно увеличить в несколько раз, не придется ли человечеству страдать от перенаселения? Ответа на этот вопрос никто не знает.

Попытка оттянуть старение неизбежно вызовет множество социальных последствий. Если мы будем жить дольше, не возникнет ли на Земле перенаселенности? Некоторые, правда, указывают, что увеличение продолжительности жизни уже произошло, ожидаемая продолжительность жизни подскочила с 45 до 70, а затем и до 80 лет всего за одно столетие, и при этом вместо демографического взрыва наблюдается обратный эффект. Последнее заявление спорно, однако и вправду люди стали жить дольше, но они теперь делают карьеру и не спешат заводить детей. Так, коренное европейское население действительно уменьшается, и заметно. Так что если люди станут жить дольше и богаче, они, возможно, станут рожать меньше детей и с соответствующими промежутками. Человек, у которого впереди

Будущее медицины

еще не один десяток лет молодости, будет планировать свое будущее соответственно и заводить детей тогда, когда сочтет нужным.

Другие утверждают, что люди будут отказываться от технологий продления жизни, поскольку сочтут их неестественными и противоречащими их религиозным убеждениям. В самом деле, неформальные опросы населения показывают, что большинство людей считают смерть естественной; более того, они считают, что именно смерть придает жизни смысл. (Однако опрашивались в большинстве люди молодые и среднего возраста. Если вам придется переехать в дом престарелых, где люди уходят каждый день, если придется жить с постоянной болью, каждый день ждать смерти и задавать один и тот же вопрос, ваше мнение, возможно, изменится.)

Как говорит Грег Сток из Университета Калифорнии в Лос-Анджелесе, «постепенно наши сомнения о стремлении уподобиться Богу и наши тревоги по поводу продления жизни уступят место новым словам: “А где достать таблетку?”»

В 2002 г. ученые подсчитали, что — по последним демографическим данным — в настоящий момент на Земле живет 6% всех когда-либо рожденных людей. Дело в том, что на протяжении большей части истории человечества численность населения Земли колебалась вокруг величины в один миллион человек. Пищи не хватало, и добывать ее было трудно, поэтому население не росло. Даже в период расцвета Римской империи численность ее населения, по современным оценкам, составляла всего лишь 55 млн человек.

Однако за последние 300 лет численность населения Земли резко возросла — одновременно с развитием современной медицины и промышленной революцией, которая обеспечила изобилие пищи и необходимых для жизни вещей. В XX в. население земного шара побило все рекорды и с 1950 по 1992 г. более чем удвоилось: оно выросло с 2,5 до 5,5 млрд. В настоящий момент оно составляет 6,7 млрд человек, и каждый год род человеческий

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

увеличивается на 79 млн человек, что превышает полную численность населения такой страны, как Франция.

Разумеется, стремительный рост населения вызвал к жизни множество предсказаний конца света, но до сих пор человечеству удается справляться с возникающими проблемами. Еще в 1798 г. Томас Мальтус предупреждал нас о том, что произойдет, когда население планеты вырастет настолько, что его невозможно будет прокормить. В результате неурожаев, голодных бунтов, падения правительств и массового голода рано или поздно установится новое равновесие между населением и ресурсами. Поскольку рост населения идет экспоненциально, а пищевые ресурсы могут расти только линейно, достижение критической точки представлялось неизбежным. Мальтус предсказывал всевозможные бедствия к середине XIX в.

Однако если подходить с позиций сегодняшнего дня, в XIX в. серьезный рост населения только начинался. К тому же шло активное освоение новых земель и основание колоний; технологии производства пищи тоже совершенствовались, поэтому до предсказанных Мальтусом катастроф дело не дошло.

В 1960-е прозвучало новое мальтузианское пророчество: на Земле вскоре произойдет демографический взрыв, и к 2000 г. все рухнет. Предсказание оказалось ошибочным. «Зеленая революция» в несколько раз увеличила пищевые ресурсы. Статистические данные показывают, что рост производства продовольствия превысил рост населения земного шара, на время одержав победу над логикой Мальтуса. С 1950 по 1984 г. производство зерна выросло более чем на 250%, в основном благодаря новым удобрениям и интенсивным технологиям ведения хозяйства.

Человечество вновь сумело уйти из-под удара. Но теперь рост населения идет полным ходом, и находятся пророки, утверждающие, что мы вот-вот достигнем предела производительных возможностей планеты.

Тот факт, что рост производства продовольствия замедляется и выходит на максимум (это можно сказать и о производстве зерна, и о пище, получаемой из океанов), действительно

Будущее медицины

выглядит угрожающе. Главный советник по науке правительства Великобритании считает, что к 2030 г. рост населения и падение производства пищи и энергии примут поистине ураганный характер, и предупреждает о грядущей опасности. Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН объявила, что к 2050 г. человечество должно увеличить производство продовольствия на 70%, чтобы прокормить дополнительные 2,3 млрд человек, или оно окажется перед лицом катастрофы.

Не исключено, что эти предсказания недооценивают подлинные масштабы проблемы. Сотни миллионов китайцев и индийцев, условно говоря, переходят в средний класс — и хотят наслаждаться роскошной жизнью, такой, какую они видят в голливудских фильмах. Им хочется иметь две машины на семью, жить в просторном загородном доме, есть гамбургеры и картошку фри... На обеспечение всего этого ресурсов земного шара может и не хватить. Лестер Браун (Lester Brown), один из ведущих мировых экологов и основатель Института всемирной вахты (WorldWatch Institute) в Вашингтоне, признался мне, что Земля, возможно, не сможет обеспечить стиль жизни, характерный для среднего класса, многим сотням миллионов людей*.

Надежда все же есть

Однако проблески надежды все же остаются. Контроль рождаемости, принадлежавший когда-то к запретным темам, прочно утвердился в развитом мире и уверенно прокладывает дорожки в мир развивающийся.

В Европе и Японии мы наблюдаем сокращение, а вовсе не рост населения. В некоторых европейских странах уровень

* Это положение можно проиллюстрировать. В 2008 г. мировое производство энергии составило 144 трлн кВт·ч, а среднее энергопотребление в США оказалось равным 87 тыс. кВт·ч на душу населения. Элементарная операция деления показывает, что американский уровень энергопотребления может позволить себе лишь 1,65 млрд человек. Чтобы «стиль жизни, характерный для среднего класса» был доступен всем землянам, производство энергии нужно увеличить вчетверо, а это уже может самым серьезным образом сказаться на климате Земли. — *Прим. пер.*

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

рождаемости в настоящее время составляет всего лишь 1,2–1,4 ребенка на семью, что намного ниже необходимых для простого воспроизводства 2,1. В Японии же целых три напасти. Во-первых, ее население стареет быстрее всех на Земле. Ожидаемая продолжительность жизни японок, к примеру, уже двадцать лет держится на рекордном уровне. Во-вторых, падает уровень рождаемости. И в-третьих, правительство удерживает иммиграцию на чрезвычайно низком уровне. В совокупности три перечисленных демографических фактора порождают замедленную катастрофу. Европа, кстати говоря, отстает ненамного.

Один из уроков, которые можно извлечь из этой ситуации, состоит в том, что процветание — лучший контрацептив. В прошлом крестьяне, не имевшие ни пенсионного плана, ни социальных гарантий, старались завести как можно больше детей, которые могли бы работать в поле и заботиться о них в старости. Тогда действовала простая арифметика: каждый новый ребенок в семье означает дополнительные рабочие руки, дополнительный доход и дополнительную уверенность в завтрашнем дне. Но когда крестьянин становится представителем среднего класса и получает все связанные с этим блага — пенсионные гарантии и комфортабельную жизнь, — семейное уравнение оборачивается другой стороной: каждый ребенок уменьшает семейный доход и снижает качество жизни.

В странах третьего мира проблема обратная — население стремительно растет и значительную его часть составляют дети и подростки. Но даже там, где ожидается самый большой демографический взрыв — в Азии и в Африке южнее Сахары, — рождаемость уже начала падать по нескольким причинам.

Во-первых, происходит стремительная урбанизация сельского населения; крестьяне оставляют наследственные земли и уходят в мегаполисы искать счастья. В 1800 г. в крупных городах жило лишь 3% населения. К концу XX в. эта цифра увеличилась до 47%, и, как ожидается, в ближайшие десятилетия рост доли городского населения продолжится. В городе ребенок

Будущее медицины

обходится гораздо дороже, и это резко уменьшает среднее число детей в семье. Жилье, питание и прочие необходимые расходы в городе очень высоки, так что рабочие в трущобах мегаполисов ориентируются на ту же простую арифметику: каждый ребенок снижает уровень благосостояния семьи.

Во-вторых, по мере индустриализации стран, которая происходит в Китае и Индии, растет потребность в среднем классе — а средний класс, в точности как на развитом Западе, стремится иметь меньше детей. И в-третьих, растет уровень образования женщин, что даже в бедных странах, таких как Бангладеш, порождает класс женщин, которые стремятся ограничить число детей. Благодаря масштабной образовательной программе уровень рождаемости в Бангладеш уменьшился с 7 до 2,7, хотя в этой стране пока не набрали ход ни урбанизация, ни индустриализация.

С учетом всех этих факторов ООН постоянно пересматривает свои прогнозы, связанные с ростом населения. Оценки по-прежнему различаются, но к 2040 г. население Земли может достичь 9 млрд человек. Оно и дальше будет расти, но скорость роста постепенно замедлится и сойдет на нет. По оптимистичным прогнозам, население Земли стабилизируется к 2100 г. на уровне примерно 11 млрд.

Может показаться, что такая численность населения превышает потенциальную емкость экосистемы планеты. Но многое зависит от того, как определить эту самую потенциальную емкость, — ведь не исключено, что нас ожидает еще одна зеленая революция.

Биотехнологии — одно из возможных решений проблемы. В Европе генномодифицированные продукты питания обрели дурную славу, которая может продержаться целое поколение. Биотехнологическая промышленность одновременно выпускала на рынок гербициды и новые сорта, устойчивые к действию этих гербицидов. Понятно, что для биотехнологической отрасли такой порядок вещей означал дополнительные продажи

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

и дополнительные доходы, но для потребителя все это означает лишь большее количество вредных веществ в пище, и этот рынок вскоре рухнул.

В будущем, однако, на рынок уверенно выйдут новые сорта зерновых, такие как «суперрис», т. е. сорта, специально полученные методами генной инженерии и приспособленные давать высокий урожай в засушливых и неплодородных районах. Трудно будет возразить с моральных позиций против безопасных культур, способных накормить сотни миллионов человек.

Возрождение вымерших форм жизни

Некоторые ученые стремятся не только продлить человеческую жизнь и обмануть смерть. Их интересует и воскрешение из мертвых.

В фильме «Парк Юрского периода» ученые выделили ДНК из останков динозавров, ввели ее в яйца пресмыкающихся и таким образом вернули динозавров к жизни. Хотя никому до сих пор не удалось извлечь из динозавровых останков хоть что-нибудь пригодное к использованию, некоторые данные все же позволяют надеяться на то, что исполнение этой мечты все же возможно. К концу XXI в. в зоопарках вполне могут появиться существа, исчезнувшие с поверхности Земли тысячи лет назад.

Как мы уже упоминали, Роберт Ланца сделал первый серьезный шаг в этом направлении, клонировав бантенга — существо вымирающего вида. Стыдно, если этот редкий дикий бык все-таки вымрет, считает Ланца. Сейчас ученый работает над другим проектом: создать еще одно клонированное животное, на этот раз противоположного пола. У млекопитающих пол организма определяется X- и Y-хромосомами. Ланца считает, что, поиграв с этими хромосомами, он сможет из той же замороженной туши клонировать еще одно животное, но другого пола. Если так, то зоопарки смогут наблюдать, как животные давно вымерших видов заводят детенышей.

Будущее медицины

Однажды мне довелось обедать с Ричардом Докинзом из Оксфордского университета, автором книги «Эгоистичный ген». Так вот, Докинз заходит еще дальше. Он рассуждает о том, что когда-нибудь человек сможет воскресить множество форм жизни, которые не просто находятся в опасности, а давно вымерли. Для начала он отмечает, что каждые 27 месяцев общее число секвенированных генов удваивается. Затем подсчитывает, что в ближайшие десятилетия стоимость секвенирования любого генома упадет до 160 долларов. Он предвидит время, когда биологи будут носить с собой портативные аппараты, способные за несколько минут считать полный геном любой встреченной формы жизни.

Докинз идет еще дальше и говорит о том, что к 2050 г. человек сможет выстроить организм просто по записи генома. Он пишет в своей книге: «Я считаю, что к 2050 г. мы научимся читать на языке [жизни]. Мы будем загружать геном неизвестного животного в компьютер, который восстановит по генной записи не только внешний облик животного, но и — в подробностях — мир, в котором его предки... жили, включая тех, кто на них охотился или на кого охотились они, тех, кто на них паразитировал или на ком паразитировали они сами, места, где они устраивали логова, даже их надежды и страхи». Цитируя работу Сидни Бреннера (Sydney Brenner), Докинз выражает надежду, что когда-нибудь нам удастся реконструировать геном «недостающего звена» между обезьяной и человеком.

Это стало бы поистине замечательным достижением. Судя по ископаемым останкам и ДНК, мы отделились от других высших приматов около 6 млн лет назад.

ДНК человека отличает от ДНК шимпанзе всего лишь 1,5% генов. В будущем компьютерная программа сможет, вероятно, проанализировать ДНК человека и шимпанзе и восстановить методами математической аппроксимации состав ДНК общего предка, давшего начало обоим видам. Как только гипотетический геном нашего с обезьянами общего предка

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

будет реконструирован методами математики, компьютерная программа сможет провести визуальную реконструкцию облика этого существа и его характеристик. Докинз называет этот проект «Геном Люси» в честь знаменитых останков самки вида *Australopithecus*.

Он даже говорит о том, что, как только компьютер воссоздаст математически геном недостающего звена, можно будет по кирпичику сложить молекулы ДНК этого существа, внедрить их в человеческую яйцеклетку и подсадить в матку женщины, которая затем родит нашего предка.

Всего несколько лет назад подобный сценарий был бы отвергнут как совершенно абсурдный, но уже сегодня существуют некоторые факты, указывающие на то, что его реализация вполне возможна.

Во-первых, немногие гены, что отделяют нас от шимпанзе, сегодня подвергаются тщательному и очень подробному изучению. Один из интереснейших примеров — ген *ASPM*, отвечающий за размеры мозга. Несколько миллионов лет назад человеческий мозг по непонятным причинам резко увеличился в размерах. Мутация этого гена вызывает микроцефалию — генетическое нарушение, при котором человек рождается с маленьким черепом и мозгом на 70% меньше среднего — примерно таким, каким обладали наши предки миллионы лет назад. Компьютерный анализ истории этого гена показывает, что за последние 5 или 6 миллионов лет — с момента разделения человека и шимпанзе — он мутировал 15 раз, что совпадает с историей увеличения размеров мозга в этот период. Интересно также, что по сравнению с родственниками среди высших приматов у человека этот ключевой ген менялся быстрее всех.

Еще интереснее так называемая область HAR_1 генома, содержащая всего 118 «букв» генетического алфавита. В 2004 г. ученые обнаружили, что важнейшее различие между человеком и шимпанзе в этом сегменте включает всего 18 букв, или нуклеиновых кислот. Шимпанзе и куры разошлись 300 млн лет

Будущее медицины

назад, но состав оснований в сегменте HAR₁ у них различается всего на две буквы. Это означает, что на протяжении многих миллионов лет эволюции участок HAR₁ оставался замечательно стабильным, — но лишь до тех пор, пока не появился человек. Так что вполне может оказаться, что гены, делающие нас людьми, находятся именно здесь.

Но существует один наглядный фактор, который делает предложение Докинза еще более реальным. Уже восстановлен полный геном нашего ближайшего генетического соседа, давно вымершего неандертальца. Возможно, компьютерный анализ этих трех геномов — человека, шимпанзе и неандертальца — позволит при помощи чистой математики реконструировать геном недостающего звена.

Стоит ли возвращать неандертальца?

Вероятно, современный человек и неандерталец разошлись около 300 000 лет назад. В Европе эти существа вымерли около 30 000 лет назад, и долгое время считалось, что извлечь пригодную к использованию ДНК неандертальца из таких древних останков невозможно.

Однако в 2009 г. было объявлено, что команде ученых под руководством Сванте Пяябо (Svante Pääbo) из лейпцигского Института эволюционной антропологии общества Макса Планка удалось, анализируя ДНК шести неандертальцев, получить первый набросок полного генома этого вида. Это громадное достижение. Геном неандертальца, как и ожидалось, очень похож на человеческий (в том и другом по 3 млрд пар оснований), но отличается от него в некоторых ключевых моментах.

Антрополог Ричард Клейн из Стэнфордского университета, комментируя работу Пяябо и его коллег, сказал, что эта реконструкция, возможно, будет полезна при ответе на давний вопрос о поведенческих особенностях неандертальцев и поможет выяснить наконец, могли ли они говорить. У человека по сравнению

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

с шимпанзе в гене FOXP2 имеется два конкретных изменения, которые, в частности, позволяют нам произносить тысячи различных слов. Тщательный анализ показывает, что у неандертальца в гене FOXP2 присутствуют эти же два генетических изменения. Можно предположить, что неандерталец, как и человек, способен был произносить слова.

Поскольку неандертальцы были нашими ближайшими генетическими родственниками, интерес к ним в научной среде очень велик. Некоторые ученые даже говорят о возможности воссоздать когда-нибудь ДНК неандертальца и вживить в человеческую яйцеклетку, которая в один прекрасный день вырастет в живого неандертальца. Если так, то однажды вымерший тысячи лет назад неандерталец вновь пройдет по земле.

Джордж Чёрч (George Church) из Медицинской школы Гарварда подсчитал даже, что возвращение неандертальца к жизни стоило бы всего лишь 30 млн долларов, и даже составил план работ по соответствующему проекту. Сначала следовало бы поделить геном человека на отдельные отрезки по 100 000 пар оснований в каждом. Затем каждый из них необходимо было вживить в бактерию, после чего изменить генетически таким образом, чтобы этот участок соответствовал геному неандертальца. Из измененного отрезка предполагалось собрать фрагмент полной молекулы ДНК неандертальца, — и так необходимое число раз. Полученную неандертальскую клетку следовало «перепрограммировать», т. е. вернуть в зародышевое состояние, а затем подсадить в матку самке шимпанзе.

Однако Клейн из Стэнфорда выразил в связи с этим проектом вполне обоснованную тревогу, задав вопрос: «И куда вы его собираетесь девать после этого? В Гарвард или в зоопарк?»

Докинз предупреждает, что все эти разговоры о возвращении к жизни давно вымерших видов, таких как неандерталец, «несомненно, породят этические проблемы». Будут ли неандертальцы обладать человеческими правами? Что произойдет, если

Будущее медицины

он или она захочет найти себе пару? Кто будет отвечать, если это существо пострадает или нанесет кому-нибудь вред?

Но если существует техническая возможность вернуть к жизни неандертальца, то, может быть, ученые смогут создать зоопарк вымерших животных, таких как мамонты?

Верните мамонта!

Вообще, эта идея не настолько безумна, как кажется. Ученые уже сумели в значительной степени секвенировать геном вымершего сибирского мамонта. Если прежде удавалось извлекать из замороженных десятки тысяч лет назад в Сибири трупов мамонтов лишь крошечные кусочки ДНК, то Вебб Миллер (Webb Miller) и Стивен Шустер (Stephan C. Schuster) из Университета штата Пенсильвания совершили невозможное: они извлекли из этих замороженных туш 3 млрд пар оснований. До этого рекордный размер ДНК-последовательности, полученной из вымерших видов, составлял лишь 13 млн пар оснований, или менее 1% полного генома животного. (Прорыв стал возможен благодаря новому секвенсеру, известному как секвенирующее устройство высокой пропускной способности. Этот новый прибор позволяет считывать не по одному гену, а по несколько тысяч генов за раз.) Еще одна хитрость Миллера и Шустера — надо знать, где искать древнюю ДНК. Ученые выяснили, что лучше всего молекулы ДНК сохранились не в теле древнего шерстистого мамонта, а в волосяных луковичках.

Не исключено, что теперь идея воскрешения вымерших видов станет биологически возможной. «Год назад я назвал бы это фантастикой», — сказал Шустер. Но теперь, когда геном мамонта известен чуть ли не целиком, ничего фантастического в проекте нет. Шустер даже прикинул, как это можно сделать. Согласно его оценке, всего около 400 000 изменений в ДНК азиатского слона будет достаточно, чтобы произвести на свет животное, обладающее основными чертами

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

шерстистого мамонта. Не исключено, что ученым удастся генетически изменить ДНК слона соответствующим образом, внедрив молекулы ДНК в ядро оплодотворенной слоновьей яйцеклетки и подсадив ее слонихе.

Другая группа ученых в настоящий момент работает над секвенированием генома еще одного вымершего животного — австралийского сумчатого волка, близкого родственника тасманийского дьявола, окончательно исчезнувшего в 1936 г. Идут разговоры о секвенировании птицы додо. В английском языке выражение «мертв, как додо» вошло в поговорку, но однажды эта поговорка может оказаться устаревшей. Для этого надо, чтобы ученые сумели извлечь пригодную для использования ДНК из мягких тканей и костей тушек додо, сохранившихся в Оксфорде и других местах.

Парк Юрского периода?

Все это естественным образом возвращает нас к первоначальному вопросу: сможем ли мы воскресить динозавров? Если ответить коротко — скорее всего нет. Создание парка Юрского периода зависит от того, удастся ли ученым получить рабочую молекулу ДНК формы жизни, вымершей более 65 млн лет назад. Не исключено, что это попросту невозможно. Несмотря на то что внутри ископаемых бедренных костей динозавров были обнаружены мягкие ткани, до сих пор из них не удалось получить даже кусочка ДНК, только белки. Эти белки химически доказали близкое родство вида *Tyrannosaurus Rex* с лягушкой и курицей, но до восстановления генома динозавра чрезвычайно далеко.

Докинз, однако, не исключает возможности математической реконструкции генерализованного генома «динозавра вообще» на основе сравнительного анализа геномов разных видов птиц и пресмыкающихся. Он отмечает, что можно побудить куриный клюв вырастить зачатки зубов (так же как можно за-

Будущее медицины

ставить змею вырастить ноги). Получается, что древние черты, давно сгинувшие в песках времени, продолжают существовать в неактивном виде внутри современных геномов.

Дело в том, что биологи в последнее время поняли: гены можно «включать» и, соответственно, «выключать». Это означает, что гены, отвечающие за древние черты, возможно, все еще существуют; они просто спят. Может быть, включив эти спящие гены, можно вернуть и соответствующие древние свойства.

К примеру, лапа курицы в древности имела перепонки. Ген, отвечающий за них, никуда не делся, он просто выключился. Вновь задействовав этот ген, в принципе можно получить курицу с перепончатыми лапами. Точно так же люди когда-то были покрыты шерстью. Однако, начав потеть (а это весьма эффективный способ терморегуляции), мы потеряли шерстяной покров. (У собак нет потовых желез, поэтому им приходится для охлаждения высовывать язык и часто дышать.) Очевидно, ген шерсти у человека по-прежнему существует, но выключен. Включив этот ген, можно получить человека, полностью заросшего шерстью. (Существуют предположения о том, что именно этим объясняются легенды об оборотнях.)

Если предположить, что некоторые гены динозавров уже миллионы лет существуют в выключенном состоянии в геноме птиц, то когда-нибудь ученые, возможно, сумеют включить эти спящие гены и получить птиц с некоторыми характеристиками динозавров. Так что предложение Докинза хотя и умозрительно, но не фантастично.

Создание новых форм жизни

В связи со всем вышесказанным возникает окончательный вопрос: сможем ли мы создавать жизнь по собственному желанию? Можно ли создать не вымершее животное, а такое животное, каких никогда на Земле не было? К примеру, можно ли создать свинью с крыльями или одно из животных, описанных

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

в древней мифологии? Даже в конце века наука еще не сможет создавать зверей по заказу, однако модифицировать животное царство уже научится.

На данный момент ограничивающим фактором является перестановка генов. Исследователи пока научились надежно модифицировать только единичные гены. К примеру, можно отыскать ген, вызывающий свечение в темноте каких-то животных. Этот ген можно выделить, а затем внедрить в генотип другого животного, так что оно тоже начнет светиться в темноте. Более того, в настоящее время ученые исследуют возможность модифицировать домашних животных при помощи добавления единичных генов.

Но создание совершенно нового животного, такого как химера греческой мифологии (которая представляет собой комбинацию из трех различных животных), требует перестановки тысяч генов. Чтобы создать свинью с крыльями, вам придется вживить ей сотни генов, отвечающих за крыло, и при этом убедиться, что все мышцы и сосуды окажутся на месте. Это намного превосходит любые возможности сегодняшнего дня.

Однако уже сегодня есть кое-какие наработки, которые помогут ученым приблизить эту футуристическую возможность. Биологи с огромным удивлением узнали, что гены, описывающие общий план тела (от головы до кончиков задних лап), располагаются в хромосоме в том же порядке, в каком соответствующие органы располагаются в теле. Эти так называемые НОХ-гены определяют общую структуру тела. Природа, судя по всему, идет по пути наименьшего сопротивления и старается в максимальной степени использовать прежние «наработки». Это, в свою очередь, очень облегчает для ученых восстановление эволюционной истории этих генов.

Более того, существуют регуляторные гены, которые, судя по всему, влияют на свойства и работу многих других генов. Управляя несколькими такими генами, можно манипулировать свойствами десятков других генов.

Будущее медицины

Вглядываясь в историю эволюции, мы видим, что природа создавала общий план тела примерно так же, как архитектор создает чертежи здания. Геометрически части здания и детали располагаются на чертеже в том же порядке, что и реальное их воплощение на местности. Кроме того, чертежи обычно строятся по модульному принципу: общий вид объединяет сразу несколько более крупных и подробных чертежей.

Воспользовавшись модульностью генома, человек способен научиться создавать совершенно новые гибриды животных. Мало того, может идти речь и о применении генной инженерии к человеку, и об использовании биотехнологий для возрождения известных исторических личностей. Ланца считает, что до тех пор, пока из тела давно умершего человека можно извлечь неразрушенную клетку, сохраняется и возможность вернуть этого человека к жизни. В Вестминстерском аббатстве у нас тщательно сохраняются тела давно умерших королей и королев, а также поэтов, религиозных деятелей, политиков и даже ученых, таких как Исаак Ньютон. Однажды, доверительно поведал мне Ланца, нам, может быть, удастся найти в их телах нетронутую ДНК и вернуть их всех к жизни.

В фильме «Мальчики из Бразилии» сюжет развивается вокруг клонирования Гитлера. Не стоит думать, однако, что можно вернуть к жизни гений или личность любой из этих исторических фигур. Как заметил один биолог, если вы клонируете Гитлера, то скорее всего получите художника средней руки (кем, собственно, и был Гитлер, прежде чем возглавил нацистское движение).

Изгоним все болезни?

Пророческий фильм «Облик грядущего» по сценарию Герберта Уэлса предсказывал печальное будущее цивилизации, где Вторая мировая война породила нескончаемую цепочку страданий и бед. Со временем все достижения человеческой цивилизации

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

гибнут, а власть над сломленным обнищавшим народом захватывают шайки под предводительством воинственных главарей. Но затем появляется группа предусмотрительных ученых, вооруженных мощным сверхоружием, которая начинает постепенно восстанавливать порядок. В конце концов цивилизация поднимается из руин.

В одной из сцен девочке будущего, изучающей жестокую историю XX в., рассказывают о так называемой простуде. Что такое простуда, спрашивает она. Ей говорят, что простуда — это такая штука, которую давно вылечили.

А может быть, и нет.

Вылечить все болезни испокон веков было золотой мечтой человечества. Но даже к 2100 г. ученые не смогут этого сделать, поскольку возбудители болезней мутируют быстрее, чем мы учимся с ними бороться, к тому же их слишком много. Мы иногда забываем, что живем в океане бактерий и вирусов, которые существовали за миллиарды лет до появления на Земле человека и будут существовать миллиарды лет после того, как исчезнет вид *Homo sapiens*.

Многие болезни человек получил от животных. Это часть платы за одомашнивание животных, начавшееся примерно 10 000 лет назад. Множество болезней, распространяемых животными, вероятно, переживет род человеческий. В обычных условиях от животных заражается всего несколько человек. Но с возникновением крупных городов заразные болезни такого рода начинают стремительно распространяться среди людей. Когда число заболевших достигает критической массы, возникают эпидемии.

К примеру, изучая генетическую последовательность вируса гриппа, ученые, к немалому удивлению, выяснили, что человек получил его от птиц. Многие птицы могут быть носителями вируса гриппа без всякого вреда для себя и окружающих. Но затем вмешиваются свиньи. Они съедают птичий помет и служат своеобразным генетическим котлом, в котором все

Будущее медицины

перемешивается. Кроме того, земледельцы часто живут рядом и с теми, и с другими. Некоторые считают, что именно поэтому вирус гриппа часто приходит из Азии, где крестьяне занимаются разными видами деятельности одновременно и потому живут в тесном соседстве одновременно с утками и со свиньями.

Недавняя эпидемия гриппа H1N1 — всего лишь последняя волна мутаций птичьего и свиного гриппа.

Одна из проблем человека состоит в том, что он постоянно что-то вокруг себя меняет: расселяется в новые места, вырубает леса, строит громадные пригороды и заводы — и сталкивается при этом с древними болезнями, распространенными среди животных. Человеческое население продолжает расти; это значит, что нам следует ждать из леса новых сюрпризов.

К примеру, есть серьезные генетические данные в пользу того, что вирус иммунодефицита человека (ВИЧ) начинался как вирус иммунодефицита обезьян (ВИО), который первоначально заражал африканских обезьян и лишь потом перепрыгнул на человека. Аналогично хантавирус поражает людей на юго-западе США, когда они вторгаются на территории степных грызунов. Болезнь Лайма, которую распространяют в основном клещи, вторглась в пригороды на северо-востоке страны, потому что люди теперь строят дома вплотную к лесу, где обитают клещи. Вирус Эбола, вероятно, поражал племена людей еще в древности, но только с появлением самолетов он распространился достаточно широко и попал в заголовки газет. Даже болезнь легионеров, вероятно, существует давно и всегда распространялась рядом с застойными водами, но именно системы кондиционирования воздуха стали идеальным местом для ее распространения и обеспечили этой болезни известность.

Все это означает, что в будущем нас ждет множество новых сюрпризов и в заголовки газет будут попадать названия новых экзотических болезней.

К несчастью, лекарства от этих болезней часто запаздывают.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

К примеру, у нас нет лекарства даже от обычной простуды. И это при том, что в любой аптеке можно увидеть целую витрину лекарств от простуды. Выбор богатейший, но все это симптоматические средства, они не убивают вирус, а просто облегчают течение болезни. Проблема в том, что у риновируса, вызывающего обычную простуду, не меньше 300 разновидностей, и создавать вакцину против каждой из них попросту слишком дорого.

Ситуация с ВИЧ намного хуже, поскольку у этого вируса могут быть тысячи различных штаммов. Более того, ВИЧ мутирует так быстро, что, даже создав вакцину против одной из его разновидностей, вы ничего не добьетесь: вирус успеет вновь измениться. Разработка вакцины против ВИЧ напоминает стрельбу по движущейся мишени.

Так что в будущем, хотя человек научится исцелять многие болезни, всегда будут и такие заболевания, которые не поддаются самым современным и продвинутым методам лечения.

Дивный новый мир

К 2100 г., когда человек получит власть над собственной генетической судьбой, ему придется сравнить свою жизнь с той, что была описана в романе Олдоса Хаксли «О дивный новый мир», действие которого происходит в 2540 г.

После публикации в 1932 г. книга вызвала у читателей шок и растерянность. Тем не менее сегодня, когда с момента публикации прошло больше семидесяти пяти лет, многие предсказания писателя уже сбылись. Написав о доступности наркотиков, о детях из пробирки и о том, что секс как наслаждение будет отделен от продолжения рода, Хаксли шокировал британское общество; однако сегодня мы живем в мире, где оплодотворение в пробирке и противозачаточные таблетки воспринимаются как нечто само собой разумеющееся. (Единственное сделанное им серьезное предсказание, которое пока не сбылось, — это клонирование человека.) Он изобразил иерархическое общество, где

Будущее медицины

врачи намеренно клонируют человеческие эмбрионы с поврежденным мозгом, которые затем вырастают и становятся слугами правящей элиты. В зависимости от уровня мозговых нарушений дети из пробирки распределяются по категориям от альфы — идеальных особей, которым предначертано править, до эпсилон — практически это умственно отсталые рабы. У Хаксли технология, вместо того чтобы избавить человечество от нищеты, невежества и болезней, стала кошмаром, насаждающим искусственную и порочную стабильность за счет порабощения всего народа.

Во многих отношениях этот роман-антиутопия удивительно точен, но Хаксли не мог предвидеть геной инженерии. Если бы писателю было известно о подобных технологиях, его, наверное, встревожила бы и другая проблема: не разделится ли род человеческий на отдельные несмешиваемые группы, если подверженные влиянию родители и непорядочные правительства начнут вмешиваться в гены наших детей? Если сейчас родители одевают детей в нелепые наряды и выставляют на всевозможные глупые конкурсы, то где гарантия, что они не захотят изменить гены ребенка по собственной прихоти? Родителям от природы присуще (т. е. закреплено в результате эволюции) стремление обеспечить максимальные преимущества своим чадам — так почему не изменить им гены?

В качестве простейшего примера непредсказуемых последствий рассмотрим обычное ультразвуковое исследование. Врачи всего мира используют ультразвуковое исследование при беременности для упрощения диагностики, но именно эта невинная медицинская технология стала причиной массовой эпидемии абортов зародышей женского пола, особенно в сельских местностях Китая и Индии. Одно из статистических исследований в Бомбее показало, что из 8000 зародышей, от которых избавились родители, 7997 были женского пола. В Южной Корее 65% третьих детей в семьях мальчики. Поколение детей, появившихся на свет в период этой эпидемии, скоро войдет в брачный

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

возраст, и миллионы юношей обнаружат, что девушек вокруг на всех не хватает. Это, в свою очередь, может вызвать громадный социальный дисбаланс. Крестьяне, которые хотели иметь только сыновей, способных продолжить род и передать имя, обнаружат, что внуков им взять неоткуда.

А в США все шире применяется не по назначению человеческий гормон роста (ГРЧ), в котором многие видят средство от старения. Первоначально ГРЧ предназначался для коррекции гормональных нарушений у детей, связанных с отставанием в росте. Вместо этого на базе сомнительных данных о старении возникла целая подпольная индустрия, которая обеспечивает желающих этим препаратом; Интернет позаботился о том, чтобы огромное количество людей стало подопытными свинками для испытания псевдонаучных методик.

Мы видим, что люди склонны при малейшей возможности использовать технологии не по назначению и создавать самим себе громадные проблемы. Что будет, если генная инженерия станет общедоступной?

В худшем сценарии развития событий мы можем получить кошмарный мир, описанный Гербертом Уэллсом в классическом романе «Машина времени», где род человеческий в 802 701 г. от Рождества Христова разделен на два отдельных вида. Уэллс писал: «Понемногу истина открылась передо мной. Я понял, что человек разделился на два различных вида. Грациозные дети Верхнего Мира не были единственными нашими потомками: это беловатое отвратительное ночное существо, которое промелькнуло передо мной, также было наследником минувших веков».

Чтобы понять, насколько далеко могут зайти различия между людьми, просто посмотрите на свою собаку. Сегодня существуют тысячи пород собак, но все они происходят от вида *Canis lupus* — серого волка, который был одомашнен около 10 000 лет назад, в конце ледникового периода. Благодаря искусственному отбору, проводимому людьми, собаки сегодня

Будущее медицины

бывают всевозможных форм и размеров. Искусственный отбор радикально изменил форму тела, темперамент, окраска и способности разных пород собак.

Собаки стареют в семь раз быстрее, чем люди, так что можно сказать: с момента расхождения с волком миновало приблизительно 1000 поколений. Если применить те же рассуждения к человеку, получим, что целенаправленный искусственный отбор может превратить человеческую расу в тысячи разных «пород» всего за 70 000 лет, хотя при этом все они будут принадлежать к одному и тому же виду. Генная инженерия, скорее всего, способна многократно ускорить этот процесс и уложить его в срок жизни одного поколения.

К счастью, есть основания считать, что расщепления человеческой расы на отдельные виды не произойдет, по крайней мере в этом столетии. Известно, что вид расщепляется в процессе эволюции, если географически он оказывается разделен на две популяции, не связанные между собой. Так произошло, к примеру, в Австралии, где физическая изоляция местных видов от всей остальной земной фауны привела к возникновению совершенно уникальных животных, таких как кенгуру и другие сумчатые. Человеческие популяции Земли, в противоположность животным, весьма мобильны, не имеют эволюционных узких мест и довольно сильно перемешаны.

Грегори Сток из Университета Калифорнии в Лос-Анджелесе сказал: «Традиционная Дарвинова эволюция в настоящее время практически не действует на человека и вряд ли будет действовать в обозримом будущем. Человеческая популяция слишком велика и перемешана, а факторы эволюционного давления слишком локальны и преходящи».

Есть еще и ограничения со стороны Приципа пещерного человека.

Как мы уже говорили, человек часто отвергает технологические новинки (к примеру, безбумажный офис), когда они противоречат его природе, — а природа человека за последние

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

100 000 лет почти не изменилась. Может быть, люди не захотят заводить особых, генетически измененных детей, которые будут выглядеть как отклонение от нормы и вызывать насмешки со стороны сверстников. Это, надо заметить, снизит их шансы на успех в обществе. Одно дело — наряжать своих детей в нелепые одежды, и совсем другое — навсегда изменить их наследственность. (На свободном рынке, вероятно, найдется место и для необычных генов, но место это будет небольшим, ибо предложение определяется потребительским спросом.) Более чем вероятно, что к концу века супружеским парам будет предлагаться на выбор целая библиотека генов, предназначенных в большинстве своем для исключения генетических заболеваний; будут там и гены для кое-каких генетических улучшений. Однако желающих финансировать исследования необычных генов будет немного, потому что и спрос на них будет невелик.

Настоящая опасность в этом смысле исходит не от потребительских запросов, а от диктаторских правительств, которые могут захотеть использовать генную инженерию в собственных целях, к примеру для выращивания сильных и послушных солдат.

Еще одна проблема возникнет в отдаленном будущем, когда у Земли появятся колонии на других планетах, где сила тяжести и климатические условия будут сильно отличаться от земных. Тогда — возможно, в следующем веке — появится смысл подумать о создании новой породы людей, способных адаптироваться к различным параметрам гравитации и атмосферы. Возможно, эти новые люди смогут потреблять иное количество кислорода, приспособиться к иной продолжительности суток, будут отличаться от нас по массе и обладать иным обменом веществ. Однако космические путешествия надолго останутся дорогим удовольствием. К концу этого века мы — в лучшем случае — получим небольшую базу на Марсе, но подавляющее большинство людей будут по-прежнему жить на родной планете. В ближайшие десятилетия и даже, вероятно, столетия космические путе-

Будущее медицины

шества останутся удовольствием для профессионалов, для богатей и, возможно, для горстки безрассудных колонистов.

Так что расщепление человечества на несколько космических видов в родной Солнечной системе и за ее пределами произойдет не в этом столетии, а может быть, и не в следующем. В обозримом будущем, если не произойдет каких-то эпохальных прорывов в космических технологиях, мы в основном останемся прикованными к Земле.

Наконец, существует еще одна угроза, с которой человечество может столкнуться еще до 2100 г.: это опасность того, что технические достижения могут быть намеренно обращены против нас, в форме биологической войны.

Микробная война

Биологическая война стара как мир, по крайней мере, как Библия. Древние воины швыряли тела умерших от заразной болезни через стены осажденных городов или отравляли колодцы телами больных животных. Еще один известный способ борьбы с противником — раздать среди его людей зараженную оспой одежду и одеяла. Но современные технологии позволяют генетически сконструировать микробы, которые способны будут стереть с лица земли миллионы людей.

В 1972 г. США и Советский Союз подписали историческое соглашение, запрещающее использовать биологическое оружие в наступательных целях. Однако на сегодняшний день биоинженерные технологии получили такое развитие, что это соглашение практически потеряло смысл.

Во-первых, невозможно отличить наступательные технологии от оборонительных, когда речь идет об исследовании ДНК. Методы манипулирования генами можно использовать в любых целях.

Во-вторых, генная инженерия позволяет модифицировать микробы и превращать их в настоящее оружие, усили-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

вая смертельный эффект или заразность. Когда-то считалось, что только США и Россия владеют последними пробирками с возбудителем оспы — величайшим убийцей в истории человечества. В 1992 г. один советский перебежчик заявил, что русские разработали на основе оспы боевой штамм и даже произвели его до 20 тонн. С развалом Советского Союза возникла реальная угроза того, что когда-нибудь террористы смогут за деньги получить доступ к этому смертельному оружию.

В 2005 г. биологам удалось реконструировать вирус испанки, который в 1918 г. погубил больше людей, чем Первая мировая война. Что интересно, для этого ученые исследовали тело женщины, умершей тогда и похороненной на Аляске, в вечной мерзлоте, и образцы, взятые у больных солдат американской армии во время эпидемии.

Исследователи опубликовали полный геном вируса испанки в Интернете, сделав его известным всему миру. Многие ученые сомневаются в разумности такого решения, ведь может случиться так, что какой-нибудь студент, имеющий доступ к университетской лаборатории, от нечего делать возродит одного из величайших убийц в истории человечества.

На короткое время геном вируса испанки стал настоящим «золотым дном» для ученых, которые смогли наконец проанализировать его гены и разрешить давнюю загадку: как могла крохотная мутация вируса истребить такое количество людей? Вскоре ответ был найден. Вирус испанки, в отличие от других разновидностей, вызывает излишне резкую реакцию иммунной системы, которая начинает выделять большое количество жидкости. Именно она в конце концов и убивает пациента — человек буквально тонет в собственных выделениях. Как только это выяснилось, появилась возможность сравнить гены, вызывающие этот смертельный эффект, с генами вируса H1N1 и других разновидностей вируса гриппа. К счастью, ни в одном из них смертельный ген не обнаружен. Более того, теперь можно определить, как близко подошел тот или иной вирус к обретению

Будущее медицины

такого опасного свойства; выяснилось, что H1N1 все еще далек от роковой грани.

Но, если говорить о далекой перспективе, за все придется платить. С каждым годом манипулировать генами в живом организме становится все проще и проще. Цены на оборудование падают, а информация легко доступна в Интернете.

Некоторые ученые считают, что в ближайшие несколько десятилетий будет создана машина, которая позволит создавать любые гены, просто набирая на клавиатуре последовательность пар оснований. Если вы наберете A-T-C-G и нажмете ввод, машина автоматически вырежет из молекулы ДНК названные основания и составит из них ген. Если так, то даже школьники когда-нибудь смогут произвольно манипулировать формами жизни.

В одном из кошмарных сценариев развития событий присутствует вирус СПИДа, получивший возможность передаваться воздушно-капельным путем. К примеру, в геноме вируса простуды присутствуют гены, позволяющие им существовать в микроскопических капельках аэрозоля, поэтому малейший чих больного распространяет заразу. Напротив, вирус СПИДа в настоящее время очень неустойчив по отношению к факторам окружающей среды. Но если гены вируса простуды внедрить в вирус СПИДа, то не исключено, что этот вирус тоже обретет способность существовать вне человеческого тела, хотя бы недолго. Если вирус СПИДа начнет передаваться, как обычная простуда, зараженной окажется значительная часть населения Земли. Известно также, что вирусы и бактерии иногда обмениваются генами, так что существует вероятность того, что передача генов от вируса простуды вирусу СПИДа произойдет естественным путем. Правда, вероятность такой случайной передачи очень мала.

Не исключено, что в будущем какая-нибудь группа террористов или какое-нибудь безответственное государство захочет превратить СПИД в оружие. Единственное, что может помешать

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

им пустить такое оружие в ход, — это понимание того, что стоит выпустить вирус в окружающий мир, и они сами тоже станут его жертвами.

После 11 сентября 2001 г. подобная угроза даже была отчасти реализована. Неизвестное лицо разослало по почте известным политикам США пакеты с белым порошком, содержащим споры сибирской язвы. Тщательное микроскопическое исследование белого порошка показало, что споры сибирской язвы были модифицированы в направлении максимальной смертности и разрушительности. Страну внезапно охватил страх: что, если какая-нибудь террористическая группа получила доступ к продвинутому биологическому оружию? Хотя споры сибирской язвы можно обнаружить в почве и практически всюду в природе, только человек с достаточно высокой подготовкой и маниакальными намерениями мог провести всю операцию: очистить и модифицировать сибирскую язву, а затем и реализовать этот безумный план.

Несмотря на самые интенсивные поиски, злоумышленник так и не был найден (хотя известно, что главный подозреваемый недавно покончил с собой). Из этого случая ясно, что даже одиночка с достаточной биологической подготовкой может запугать целую страну.

Надо сказать, что главным сдерживающим фактором в биологической войне выступает примитивный инстинкт самосохранения. Во время Первой мировой войны отравляющие газы реально применялись на поле боя, и стало ясно, что эффективность их применения невелика. Атмосферные условия (сила и направление ветра) нередко меняются самым непредсказуемым образом, так что газ вместо позиций противника вполне может накрыть ваши собственные позиции. Вообще, военный эффект отравляющих веществ заключается в основном в запугивании противника, а не в нанесении реального ущерба. Ни одно решительное сражение не было выиграно с применением ядовитого газа. И даже в разгар холодной войны обе стороны

Будущее медицины

понимали, что отравляющие вещества и биологическое оружие могут произвести на поле боя непредсказуемый эффект, а война с их применением — легко перерасти в ядерную.

В данной главе речь шла о манипуляции генами, белками и молекулами. В связи с этим возникает следующий логичный вопрос: насколько реально манипулировать отдельными атомами?

4. НАНОТЕХНОЛОГИИ

ВСЕ ИЗ НИЧЕГО?

Принципы физики, насколько я их понимаю, ничего не говорят о невозможности переставлять в объектах атомы буквально по одному.

Ричард Фейнман, нобелевский лауреат

Нанотехнология дала нам инструменты, при помощи которых можно задействовать в игре самые мелкие кубики природы — атомы и молекулы.

Все состоит из них, и возможность создавать новые вещи ничем, судя по всему, не ограничена.

Хорст Штормер, нобелевский лауреат

Значение бесконечно малого бесконечно велико.

Луи Пастер

Владение орудиями труда — вот то высшее достижение, что отличает человека от животных. Согласно классической мифологии, процесс овладения ими начался, когда Прометей, сжалившись над несчастьями людей, украл из топки Вулкана драгоценный огонь и подарил его им. Но этот поступок разгневал богов, и Зевс, чтобы наказать людей, пустился на хитрость. Он попросил Вулкана сковать из металла шкатулку и красивую женщину. Вулкан создал статую, получившую имя Пандора, а затем волшебным образом оживил ее и наказал ей никогда не открывать шкатулку. Конечно, однажды Пандора не выдержала и из любопытства открыла шкатулку, выпустив оттуда в мир все ветры хаоса, все несчастья и страдания. В шкатулке осталась лишь надежда.

Таким образом, из божественной топки Вулкана вышли как мечты, так и страдания рода человеческого. Сегодня мы разрабатываем принципиально новые машины, «скованные»

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

из отдельных атомов. Эти машины должны стать нашими «первичными инструментами». Но что они принесут человечеству: пламя познания или ветры хаоса?

На протяжении всей истории человечества нашу судьбу определяло владение инструментами. Когда много тысяч лет назад были изобретены лук и стрелы, это означало, что человек научился посылать метательное оружие на гораздо большее расстояние, чем это можно сделать руками, что увеличило эффективность охоты и расширило доступные человеку источники пищи. Когда около 7000 лет назад человек научился обрабатывать металл, это означало, что со временем он сможет заменить землянки и хижины великолепными прочными домами, которые вознесутся над землей. Вскоре на месте лесов и пустынь начали расти великие империи, построенные металлическими инструментами.

В настоящий момент человечество стоит на пороге овладения совершенно новым типом орудий труда, намного более мощным, чем все, чем мы владели до сих пор. На этот раз мы обретаем власть над самими атомами, из которых состоит все вокруг. Возможно, еще в этом столетии мы получим самое важное орудие, какое только можно вообразить. Речь идет о нанотехнологиях, которые позволят нам манипулировать отдельными атомами. Это событие может стать началом второй промышленной революции, поскольку молекулярное производство создаст материалы, о которых сегодня мы можем только мечтать, — сверхпрочные, сверхлегкие, с поразительными электрическими и магнитными свойствами.

Нобелевский лауреат Ричард Смолли (Richard Smalley) утверждает: «Величайшая мечта нанотехнологии — научиться строить из атомов, как из кирпичиков». Филип Кукес (Philip Kuekes) из компании Hewlett-Packard говорит: «Вообще, цель не в том, чтобы просто сделать компьютер размером с пылинку. Идея в том, чтобы научиться делать простые компьютеры размером с бактерию. Тогда можно будет упаковать нечто столь же

НАНОТЕХНОЛОГИИ

мощное, как ваш настольный компьютер, до размеров пылинки».

И это не просто надежды мечтателей с горящими глазами. Правительство США воспринимает все это очень серьезно. В 2009 г., учитывая громадный потенциал нанотехнологий в медицине, промышленности, авионавтике и коммерческом применении, в рамках Национальной инициативы в области нанотехнологий на исследования было выделено 1,5 млрд долларов. В докладе по нанотехнологиям правительственного Национального научного фонда говорится: «Нанотехнологии могут в перспективе сделать человека умнее, обеспечить устойчивое улучшение материалов, воды, энергии и пищи, защитить от неизвестных бактерий и вирусов...»

В конце концов может оказаться, что от нанотехнологий зависит состояние мировой экономики и судьба целых стран. Около 2020 г. или вскоре после него закон Мура начнет давать сбои, а возможно, и совсем перестанет действовать. Развитие компьютерной отрасли остановится. Мировой экономике будет грозить хаос, если физики не найдут подходящей замены для кремниевых транзисторов в чипах наших компьютеров. Решение этой проблемы, вероятно, будет найдено в области нанотехнологий.

Не исключено также, что при помощи нанотехнологий удастся, возможно еще до конца этого века, создать машину, которой прежде могли владеть только боги, — машину, способную создавать что угодно почти из ничего.

Квантовый мир

Первым внимание научного сообщества к этой новой области физики привлек нобелевский лауреат Ричард Фейнман, задавший обманчиво простой вопрос: «Насколько маленькой можно сделать машину?» Вопрос этот не был чисто академическим. Компьютеры постепенно становились все меньше и меньше, меняя лицо промышленности, и делалось все более очевидным,

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

что ответ на этот вопрос может оказать громадное влияние на общество и экономику.

В пророческой лекции, прочитанной в 1959 г. в Американском физическом обществе и озаглавленной «Там, внизу, полно места», Фейнман сказал: «Интересно, что физик в принципе может (как мне кажется) синтезировать любое химическое вещество по написанной химиком формуле. Пишите заказ, и физик все сделает. Каким образом? Поставит атомы на те места, которые укажет химик, и таким образом построит вещество». Фейнман сделал вывод, что возможны машины, состоящие из отдельных атомов, но новые законы физики делают их создание трудным, хотя и не невозможным, делом.

Так что в конечном итоге может оказаться, что судьбы мировой экономики и множества стран зависят от интуитивно непонятных и даже нелепых на взгляд непосвященного принципов квантовой теории. В обычной жизни нам представляется, что законы физики при переходе к более мелкому масштабу не меняются. Из фильмов типа «Дорогая, я уменьшил детей» и «Невероятно уменьшающийся человек» зритель получает ошибочное впечатление о том, что для миниатюрных человечков законы природы выглядели бы точно так же, как для нас. К примеру, в одной из сцен диснеевского фильма уменьшившиеся герои едут на муравье во время грозы. Капли падают на землю и образуют крошечные лужицы, в точности как в нашем мире. На самом же деле капли будут крупнее муравьев, так что муравей, столкнувшись с упавшей каплей, увидит большую водяную полусферу. Водяная полусфера не растекается, потому что сила поверхностного натяжения удерживает ее, как накинутая сверху сеть. В нашем мире поверхностное натяжение воды невелико и не играет существенной роли; мы его просто не замечаем. Но в масштабе муравья поверхностное натяжение приобретает громадное значение.

(Более того, если вы попытаетесь пропорционально увеличить муравья, так чтобы он стал размером с дом, у вас возникнет

НАНОТЕХНОЛОГИИ

серьезная проблема: ноги такого муравья-гиганта не выдержат и сломаются. Дело в том, что при увеличении муравья его вес будет расти намного быстрее, чем сила его ног. Если вы сделаете муравья в десять раз длиннее, его объем, а значит, и масса вырастут в $10 \times 10 \times 10 = 1000$ раз. Но сила мускулов пропорциональна их толщине, т. е. площади сечения, и увеличится всего лишь в $10 \times 10 = 100$ раз. Следовательно, гигантский муравей станет в 10 раз слабее, в относительных единицах, своего реального прототипа. Это означает также, что Кинг-Конг, вместо того чтобы терроризировать Нью-Йорк, просто рассыпался бы, попытавшись влезть на небоскреб.)

Фейнман отметил, что на атомном уровне доминируют другие силы, к примеру водородные связи и силы Ван-дер-Ваальса, порождаемые электрическим взаимодействием между атомами и молекулами. Многие физические свойства веществ определяются именно этими силами.

(Для наглядной демонстрации этого рассмотрим простой вопрос: почему на дорогах северо-востока США* так много выбоин и ухабов? Каждую зиму вода проникает в крохотные трещинки в асфальте; при замерзании вода расширяется, асфальт начинает крошиться и образуется выбоина. Но сама мысль о том, что вода при замерзании расширяется, противоречит житейскому здравому смыслу. А вода действительно расширяется, и причиной тому — водородные связи. Молекула воды по форме напоминает букву V, причем в основании располагается атом кислорода. Молекула воды несет легкий отрицательный заряд у основания и легкий положительный заряд «наверху», где располагаются атомы водорода. Поэтому при замораживании воды ее молекулы выстраиваются в правильную пространственную решетку и застывают, а между ними остается пустое пространство. Молекулы воды образуют пространственные шестиугольники, расстояние между атомами в которых больше, поэтому лед объемнее воды. По этой же причине снежинки обладают

* И России, конечно. — Прим. пер.

шестисторонней симметрией, а лед плавает в воде, хотя по идее должен бы в ней тонуть.)

Проходить сквозь стены

Помимо поверхностного натяжения, водородных связей и сил Ван-дер-Ваальса на атомном уровне существуют и странные квантовые эффекты. Как правило, в повседневном быту мы не видим, как работают квантовые силы. На самом же деле они всюду. Известно, к примеру, что внутри атомы по большей части пусты, и по идее ничто не должно нам мешать проходить сквозь стены. Между ядром в центре атома и электронными оболочками ничего нет, там вакуум. Если увеличить атом до размеров футбольного поля, поле окажется пустым, поскольку его ядро при этом приобретет примерно размеры песчинки.

(Мы иногда удивляем студентов простой демонстрацией. Берем счетчик Гейгера, кладем перед студентом, а со спины к нему подносим безвредную крупинку радиоактивного вещества. Студентов поражает, что какие-то частицы пронизывают его тело насквозь, вызывая щелчки счетчика, как если бы занимаемый его телом объем был по большей части пуст. А ведь так и обстоит дело в действительности!)

Но если мы с вами по большей части пусты, то почему мы не можем проходить сквозь стены? В фильме «Привидение» герой Патрика Суэйзи, убитый соперником, превращается в призрак. Каждый раз, когда он пытается прикоснуться к своей бывшей невесте, которую играет Деми Мур, у него ничего не получается. Его руки проходят сквозь обычное вещество; он понимает, что утратил вещественную составляющую и теперь просто плавает, не замечая твердых объектов. В одной сцене он засовывает голову в движущийся вагон метро. Поезд несется мимо, голова героя торчит сквозь летящую стену, но он ничего не чувствует. (Фильм не объясняет, почему сила тяжести не заставляет героя провалиться сквозь пол и дальше до самого центра Земли. Судя

НАНОТЕХНОЛОГИИ

по всему, привидения могут проходить сквозь любые вещи, кроме твердого пола.)

И все же, почему мы не можем, подобно привидениям, проходить сквозь твердые объекты? Ответ заключается в одном любопытном квантовом явлении. Принцип запрета Паули гласит, что в одной квантовой системе два электрона не могут существовать в одном и том же квантовом состоянии. Поэтому при сближении два почти идентичных электрона отталкиваются друг от друга. Именно поэтому объекты представляются нам твердыми, что, вообще говоря, иллюзия. Реальность заключается в том, что вещество по большей части пусто.

Садясь на стул, мы думаем, что касаемся его поверхности. На самом же деле мы зависаем чуть выше под действием электрических и квантовых сил стула и плаваем меньше чем в нанометре над сиденьем. Это означает, что любое «касание» условно, мы не можем добиться непосредственного контакта. Атомные силы гарантируют, что между двумя объектами всегда остается какое-то расстояние. (Это означает также, что если бы мы научились нейтрализовать каким-то образом на время принцип запрета, то могли бы проходить сквозь стены. Однако никто не знает, как можно было бы это сделать.)

Квантовые силы не только не дают атомам сталкиваться друг с другом, но и связывают их в группы — молекулы. Представьте на мгновение, что атом похож на крохотную Солнечную систему с центральным светилом и обращающимися вокруг него планетами. При встрече двух таких систем планеты либо начнут сталкиваться между собой, либо разлетятся в разные стороны, а сами системы перестанут существовать. Солнечные системы не могут оставаться стабильными при столкновениях, так что по идее атомы при столкновениях друг с другом должны были бы прекращать существование.

На самом деле при сближении два атома либо упруго отскакивают друг от друга, либо соединяются в стабильную молекулу. Вообще, если из атомов могут образовываться стабильные

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

молекулы, то только потому, что некоторые электроны могут принадлежать одновременно двум атомам. С точки зрения здравого смысла такая ситуация представляется нелепой. Если бы электроны подчинялись интуитивно понятным законам Ньютона, это было бы невозможно. Но принцип неопределенности Гейзенберга гласит: мы не можем точно определить, где находится электрон. Вместо того чтобы кружить маленькой планетой вокруг атомного ядра, он оказывается размазан по общей электронной оболочке двух атомов, что и удерживает их вместе.

Иными словами, если «отключить» квантовую теорию (точнее, квантовые законы), все молекулы рассыплются при столкновениях и любой объект (в том числе и человеческое тело) превратится в облачко элементарных частиц. Именно квантовая теория объясняет, почему атомы могут существовать и сцепляться между собой, образуя твердое вещество, вместо того чтобы рассыпаться на отдельные частицы.

(Кстати говоря, поэтому вложенные миры невозможны. Некоторые воображают, что наша Солнечная система или даже Галактика на самом деле, возможно, является всего лишь атомом какой-то другой гигантской вселенной. Именно такой мир показан в финальной сцене фильма «Люди в черном»: вся известная нам Вселенная оказывается на самом деле лишь атомом шарика в руках у какого-то иномирного существа. Однако с точки зрения науки такая ситуация невозможна, потому что с изменением масштаба законы природы тоже меняются. Законы, которым подчиняются атомы, сильно отличаются от законов, которым подчиняются галактики.)

Вот некоторые принципы квантовой теории, которые непосвященному человеку покажутся слишком заумными:

- невозможно знать одновременно скорость частицы и ее положение в пространстве — здесь всегда присутствует неопределенность;

НАНОТЕХНОЛОГИИ

- частицы могут в определенном смысле находиться в двух местах одновременно;
- все частицы существуют как смесь различных состояний; к примеру, вращающиеся частицы могут представлять собой смесь частиц, оси которых вращаются одновременно вверх и вниз;
- вы можете исчезнуть здесь и появиться где-то в другом месте.

Все эти утверждения на первый взгляд звучат нелепо. Сам Эйнштейн однажды сказал: «Чем успешнее становится квантовая теория, тем глупее она выглядит». Никто не знает, откуда берутся такие странные законы. Ученые просто постулировали их — объявили истиной без всяких объяснений. Есть лишь одна вещь, которую можно сказать в оправдание квантовой теории: она верна. Ее верность измерена с точностью до одной десяти-миллиардной, а это значит, что квантовая теория — самая точная и успешная физическая теория всех времен.

Однако в повседневной жизни мы не наблюдаем ничего, что хотя бы отдаленно напоминало перечисленные выше невероятные явления. Дело в том, что мы с вами состоим из множества триллионов атомов, и квантовые эффекты в некотором смысле усредняются и становятся незначимыми.

Двигать отдельные атомы

Ричард Фейнман мечтал о дне, когда физик сможет построить любую молекулу, собрав ее по «чертежу», атом за атомом. Тогда, в 1959 г., это казалось невозможным, но сегодня эта мечта в какой-то мере стала реальностью.

У меня была возможность наблюдать все это вблизи во время посещения Альмаденского исследовательского центра IBM в Сан-Хосе, штат Калифорния. Я приехал туда посмотреть на замечательный инструмент — сканирующий туннель-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

ный микроскоп, позволяющий ученым увидеть отдельные атомы и даже воздействовать на них. Это устройство изобрели Герд Бинниг (Gerd Binnig) и Генрих Рорер из IBM, за что в 1986 г. им была присуждена Нобелевская премия. (Помню, когда я учился в школе, учитель говорил нам, что мы никогда не сможем увидеть атомы. Он слишком малы для этого, говорил он. К тому моменту я уже твердо решил стать ученым-атомщиком. Я понимал, что собираюсь посвятить жизнь изучению того, что никогда не увижу собственными глазами. Но сегодня мы можем не просто увидеть атомы, но даже поиграть с ними при помощи атомного пинцета.)

На самом деле сканирующий туннельный микроскоп — вовсе не микроскоп. Скорее он чем-то напоминает старинный фонограф. Тонкая игла (с кончиком, который должен заканчиваться одним атомом в вершине пирамидки) медленно проносится над поверхностью анализируемого материала. С иглы через изучаемый образец на базу инструмента проходит слабый ток. Всякий раз, когда атом на кончике иглы проходит над атомом образца, величина электрического тока слегка меняется. После нескольких проходов машина распечатывает поразительную вещь — очертания самого атома. При помощи точно такой же иглы микроскоп может не только регистрировать атомы, но и двигать их. Таким образом можно составить из атомов на образце буквы — IBM — и даже соорудить примитивную машину из атомов.

(Еще одно недавнее изобретение — атомно-силовой микроскоп, способный дать поразительное трехмерное изображение атомной решетки. В атомно-силовом микроскопе также используется игла с очень тонким кончиком, но на кончик этот направляют луч лазера. Проходя над поверхностью изучаемого образца, игла дрожит от взаимодействия с атомами вещества, и это движение регистрируется оптическим датчиком на основе лазерного луча.)

Я обнаружил, что передвигать отдельные атомы совсем не сложно. Я сидел перед экраном компьютера и видел на нем

НАНОТЕХНОЛОГИИ

поверхность, состоящую из белых сфер по 2–3 см в поперечнике, напоминающих мячик для пинг-понга. На самом деле каждый шарик на экране обозначал отдельный атом на поверхности образца. Я поместил курсор на один из атомов и перетащил его мышкой на другое место. Затем я нажал кнопку, которая запускает новое сканирование. Микроскоп проделал требуемую операцию. Картинка на экране изменилась, демонстрируя мне, что один из белых шариков передвинулся ровно в ту точку, которую я указал.

Процесс перестановки одного атома в любую указанную точку занимал всего одну минуту. Через полчаса я увидел, что составленные мной из атомов буквы уже можно прочесть на экране. Через час я научился составлять довольно сложные узоры примерно из десяти атомов.

Сознание того, что я собственными руками практически двигаю отдельные атомы — т. е. делаю то, что когда-то считалось абсолютно невозможным, — стало для меня настоящим потрясением.

МЭМС и наночастицы

Хотя нанотехнологии на сегодняшний день находятся в младенческом состоянии, они уже породили стремительно развивающуюся коммерческую отрасль — химические покрытия. Если на изделие нанести путем распыления тончайший — в несколько молекул толщиной — слой нужного химического вещества, можно добиться множества полезных эффектов. С одной стороны, при помощи такого покрытия можно защитить изделие, к примеру, от ржавчины, а с другой — улучшить его, к примеру изменить в нужную сторону оптические свойства. Разработано множество различных покрытий: они оберегают нашу одежду от пятен, улучшают экраны компьютеров, усиливают режущие кромки металлообрабатывающих инструментов, защищают от царапин. В ближайшие годы на рынок поступит

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

множество новых товаров с микропокрытиями, призванными улучшить их потребительские свойства.

Конечно, нанотехнология — еще очень молодая отрасль науки. Но одна из ее сторон начинает входить в жизнь практически каждого человека; на ее базе уже выросла глобальная индустрия с годовым оборотом 40 млрд долларов. Речь о микроэлектромеханических системах (МЭМС); в эту категорию попадает множество самых разных вещей, от струйных картриджей, сенсоров для автомобильных мешков безопасности и дисплеев до гироскопов для машин и самолетов. МЭМС — это крошечные машины, такие маленькие, что могут с легкостью уместиться на кончике иглы. Изготавливают их при помощи той же технологии травления, которая уже несколько десятилетий используется в производстве микросхем. Но вместо того, чтобы вытравливать транзисторы, инженеры здесь вытравливают крохотные механические компоненты, создавая столь крохотные детали машин, что без микроскопа вы их просто не увидите.

Ученые сделали атомную версию абака — древнего азиатского счетного приспособления, очень напоминающего обычные конторские счеты. В 2000 г. в Цюрихской исследовательской лаборатории ИВМ изготовили атомную версию этого несложного прибора; в процессе его изготовления отдельные атомы передвигали и устанавливали на место при помощи сканирующего микроскопа. Вместо деревянных костяшек, которые в счетах двигаются по жестким проволочкам, в атомном абаке были использованы фуллерены — углеродные структуры, по форме напоминающие футбольный мяч в 5000 раз тоньше человеческого волоса.

В Корнеллском университете ученые пошли еще дальше и создали атомную гитару. У этой гитары шесть струн, каждая толщиной в 100 атомов. На срез человеческого волоса можно уложить в ряд двадцать таких инструментов. При этом гитара настоящая, ее струны, как струны ее макроскопического

НАНОТЕХНОЛОГИИ

прототипа, можно щипать (хотя звук, разумеется, будет слишком высоким и потому неслышимым для человеческого уха).

Но самое распространенное на сегодняшний день практическое применение этой технологии — автомобильные мешки безопасности, в которых установлены крохотные МЭМС-акселерометры, способные почувствовать резкое торможение машины. МЭМС-акселерометр представляет собой микроскопический шарик на пружинке или крохотном рычажке. Когда вы резко ударяете по тормозам, внезапное отрицательное ускорение заставляет шарик качнуться и порождает крохотный электрический заряд. Заряд служит детонатором для химического взрыва, при котором за $1/25$ долю секунды высвобождается большое количество азота. Эта технология уже спасла множество жизней.

БЛИЖАЙШЕЕ БУДУЩЕЕ (с настоящего момента по 2030 г.)

Наномашины в наших телах

В ближайшем будущем следует ожидать появления новых разновидностей наноустройств, которые, возможно, совершат настоящий переворот в медицине; в качестве примера можно назвать наномашины, предназначенные для курсирования по кровотоку. В фильме «Фантастическое путешествие» команду ученых и специальный корабль вроде подводной лодки уменьшили до размеров красного кровяного тельца — эритроцита. Затем все они предприняли путешествие по кровеносным сосудам и мозгу пациента и пережили в его теле множество приключений. Одна из целей нанотехнологии — создание молекулярных охотников, которые будут целенаправленно искать раковые клетки и аккуратно уничтожать их, оставляя здоровые клетки нетронутыми. Авторы научной фантастики давно придумали такое устройство — молекулярное судно, курсирующее в кро-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

вяном потоке в непрерывном поиске раковых клеток. Когда-то критики считали подобное абсолютно невозможным, а высказанные фантастами идеи называли пустыми мечтаниями фантазеров.

Тем не менее отчасти эта мечта сегодня уже реализована. В 1992 г. Джером Шентаг (Jerome Schentag) из университета Буффало изобрел умную таблетку, о которой мы упоминали ранее, — крохотный инструмент размером с настоящую таблетку, которую надо глотать и за продвижением которой затем можно следить при помощи электронного прибора. В нужный момент — и в нужном месте — ей можно подать команду на выброс лекарств. Созданы также умные таблетки с телекамерами для фотографирования внутренностей на пути их прохождения через желудок и кишечник. Движением таких таблеток можно отчасти управлять при помощи специальных магнитов. Таким образом, это устройство можно точно подвести к опухоли или полипу. В будущем, возможно, ученые научатся проделывать при помощи подобных устройств небольшие хирургические операции, удалять «лишние детали» и брать пробы на биопсию изнутри, не разрезая кожи.

Еще более миниатюрны так называемые наночастицы — молекулы, способные доставить противораковые лекарства к конкретной мишени; если этого удастся добиться, новая технология произведет революцию в лечении рака. Наночастицы можно сравнить с молекулярными «умными бомбами», их назначение — доставлять химический груз в конкретное точно заданное место и активировать там, что, естественно, резко снизит побочные эффекты. Если простая «бомба» бьет по всему вокруг, включая и здоровые клетки, то умная действует избирательно и сбрасывает свой химический груз только на раковые клетки.

Каждый, кому довелось испытать чудовищные побочные эффекты химиотерапии, оценит громадный потенциал наночастиц в деле уменьшения человеческих страданий. Хи-

НАНОТЕХНОЛОГИИ

миотерапия промывает все тело смертельно опасными ядами, убивая раковые клетки лишь чуть эффективнее, чем обычные. У человека во время химиотерапии возникает целый спектр побочных эффектов, включая тошноту, потерю волос, слабость и т. п. Они настолько серьезны и настолько тяжело переносятся, что некоторые раковые больные согласны скорее умереть от болезни, чем подвергнуться подобной попытке.

Наночастицы полностью изменяют ситуацию. Лекарства, к примеру противораковые, будут помещать внутрь молекулы, имеющей форму капсулы. Затем наночастицы с лекарством запустят в кровоток, но высвободится их химическое содержимое только тогда, когда наночастица отыщет место назначения.

Главная особенность наночастиц — их размер: от 10 до 100 нм. Они слишком велики, чтобы проникать в клетки крови, поэтому от нормальных клеток крови, или кровяных телец, наночастицы будут просто отскакивать. А вот раковые клетки выглядят иначе: их стенки пронизаны большими порами неправильной формы. Соответственно, наночастицы могут свободно заходить внутрь и доставлять лекарство по назначению, оставляя здоровые ткани нетронутыми. Врачам не потребуется сложная система управления, которая могла бы привести наночастицы внутри человеческого тела к цели. Они сами естественным образом аккумулируются в определенных типах злокачественных опухолей.

Красота этого метода в том, что он не требует сложного и опасного лечения, которое чревато серьезными побочными эффектами. Просто сами наночастицы должны быть правильного размера: слишком большие, чтобы нападать на нормальные клетки, но в самый раз для проникновения в клетки раковые.

Еще один пример — наночастицы, созданные учеными компании BIND Bioscience в Кембридже, штат Массачусетс. Эти наночастицы сделаны из полимолочной кислоты и кополимолочной/гликолевой кислоты, которые способны удерживать лекарства внутри молекулярной сетки. Это лекарство является

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

полезным грузом наночастицы. Проводниками наночастицам служат пептиды, покрывающие их и целенаправленно сцепляющиеся с целевыми клетками.

В этой работе особенно привлекает тот факт, что наночастицы формируются сами, без сложных заводов и химических комбинатов. Достаточно смешать различные химические вещества постепенно, в правильном порядке и точно соблюдаемых условиях, — и наночастицы «соберутся» сами.

«Поскольку самосборка не требует проведения множества сложных химических реакций, получается, что наночастицы очень просты в производстве... И мы можем производить их килограммами, чего прежде никто не делал», — говорит представитель BIND Омид Фарохзад, врач, преподающий в Медицинской школе Гарвардского университета. Эти наночастицы уже доказали свою эффективность в опытах на крысах — в борьбе против рака простаты, груди и легких. При помощи цветных красителей несложно убедиться, что наночастицы собираются в нужном органе и высвобождают свой полезный груз так, как нужно врачам. Через несколько лет начнутся клинические испытания на людях.

Электрошок для раковых клеток

Не исключено, что наночастицы смогут не только разыскивать раковые клетки и доставлять к ним нужные химические вещества, но и уничтожать их на месте без посторонней помощи. Принцип прост. Наночастицы способны поглощать свет определенной частоты. Если сфокусировать на них луч лазера, они нагреваются или начинают вибрировать, разрушая клеточные стенки всех оказавшихся поблизости раковых клеток и уничтожая их. Таким образом, ключевая задача здесь — подвести наночастицы вплотную к раковым клеткам.

Несколько групп исследователей, работающих в этой области, уже создали первые образцы. Так, ученые Аргоннской наци-

НАНОТЕХНОЛОГИИ

ональной лаборатории и Чикагского университета разработали наночастицы из диоксида титана (диоксид титана — распространенное вещество, присутствующее, в частности, в солнцезащитных кремах). Выяснилось, что эти наночастицы можно привязать к антителу, которое естественным образом ищет в организме раковые клетки определенного типа, так называемые мультиформные глиобластомы. Наночастицы подъезжают к раковым клеткам на этих антителах, как в такси. Затем на пять минут включается белый свет, раковые клетки нагреваются и в конце концов погибают. Исследования показывают, что таким образом можно уничтожить 80% раковых клеток.

Эта же группа исследователей разработала еще один способ убивать раковые клетки. Они создали крошечные магнитные диски, способные сильно вибрировать. Стоит подвести эти диски к раковым клеткам и включить небольшое внешнее магнитное поле — и вибрация дисков разрушит стенки раковых клеток. При испытаниях всего за 10 минут вибрации погибло 90% раковых клеток.

Такой результат не случаен. Ученые Университета Калифорнии в Санта-Крус разработали очень похожую систему с использованием золотых наночастиц. Эти частицы, всего лишь 20–70 нм в поперечнике, представляют собой сферическую оболочку толщиной в несколько атомов. Кроме того, ученые использовали определенный пептид, о котором известно, что его влечет к раковым клеткам кожи. При испытаниях на мышах этот пептид сцеплялся с золотыми наночастицами, после чего направлялся к раковым клеткам кожи. Если затем подсветить эти частицы инфракрасным лазером, они смогут нагреть клетки опухоли и тем самым разрушить их. «Примерно как если бы вы положили раковую клетку в горячую воду и сварили ее. Чем больше тепла выделяют наши металлические наносферы, тем лучше», — говорит Цзинь Чжан (Jin Zhang), один из исследователей.

Так что в будущем методики с использованием нанотехнологий смогут обнаруживать колонии раковых клеток

за несколько лет до того, как из них сформируется опухоль, а циркулирующие в крови наночастицы будут их уничтожать. Сегодня прорабатываются теоретические основы подобных методов лечения.

Наномашины в нашей крови

Если продвинуться еще на шаг, то вместо наночастицы мы получим нанокар (наноавтомобиль) — устройство, которым можно по-настоящему управлять в его путешествиях по телу. Если наночастицы вводят в кровоток и оставляют в покое, то скоростью и направлением движения нанокаров можно управлять, примерно как машинками с пультом.

Джеймс Тур (James Tour) и его коллеги из Университета Райса разработали первый нанокар. Вместо колес у этой крохотной машинки — четыре фуллерена. Одна из задач, к решению которых стремятся исследователи, состоит в том, чтобы молекулярная машина могла буксировать по кровотоку крошечного робота, убивая по пути раковые клетки или доставляя жизненно необходимые лекарства точно к месту назначения.

Основная проблема состоит в том, что у нанокаров нет двигателя. Ученые изобретают все более сложные молекулярные машины, но вот создать молекулярный двигатель пока никому не удается, и это главный камень преткновения. Мать-природа решила эту задачу при помощи особой молекулы, аденозинтрифосфата (АТФ), которая и служит всем живым существам источником энергии. Именно за счет энергии этой молекулы на Земле существует жизнь; она ежесекундно обеспечивает энергией каждое движение наших мышц. Энергия запасается в молекуле АТФ за счет внутренних атомных связей. Однако создать синтетический аналог такому аккумулятору оказалось весьма сложно.

Томас Маллук (Thomas Mallouk) и Айюсман Сен (Ayusman Sen) из Университета штата Пенсильвания все же смогли най-

НАНОТЕХНОЛОГИИ

ти потенциальное решение этой проблемы. Они создали нанокар, способный передвигаться со скоростью десятки микрон в секунду, т. е. примерно с такой же скоростью, с какой передвигается большинство бактерий. (Сначала они изготовили из золота и платины наностержень размером с бактерию, который затем поместили в водный раствор перекиси водорода. При этом на обоих концах наностержня началась химическая реакция, в результате которой протоны стали двигаться от одного конца стержня к другому. Поскольку двигались они в электрическом поле, создаваемом дипольными молекулами воды, возникла сила, толкающая наностержень вперед. Пока в воде присутствует перекись водорода, стержень будет двигаться.)

Подобные наностержни можно двигать при помощи магнитов. Ученые встроили в них никелевые диски, и теперь стержни, как стрелка компаса, разворачиваются вдоль линий магнитного поля. Двигая рядом обычный магнит с холодильника, можно направить наностержни в любую сторону.

Еще один способ заставить молекулярную машину двигаться — осветить фонариком пункт ее назначения. Свет способен разлагать молекулы на положительные и отрицательные ионы (фотодиссоциация). Ионы затем с разной скоростью диффундируют сквозь среду, создавая тем самым электрическое поле, а поле, в свою очередь, притягивает молекулярные машины. Таким образом, направив в определенное место фонарик, можно заставить молекулярные машины двигаться туда.

Нечто подобное я видел при посещении лаборатории Сильвена Мартеля (Sylvain Martel) в Монреальском политехническом институте в Канаде. Он работал над идеей использовать для направленного перемещения крохотного чипа в кровотоке жгутики обычных бактерий. До сих пор ученым не удается соорудить атомный движитель вроде того, что можно найти в жгутике бактерии. Мартель задался вопросом: если нанотехнология не в состоянии изготовить такое устройство, то почему не использовать жгутики настоящих живых бактерий?

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Для начала он изготовил микропроцессор размером меньше точки в конце этого предложения. Затем вырастил группу бактерий. Он сумел поместить около восьмидесяти бактерий с одной стороны чипа (условно говоря, сзади), так что они

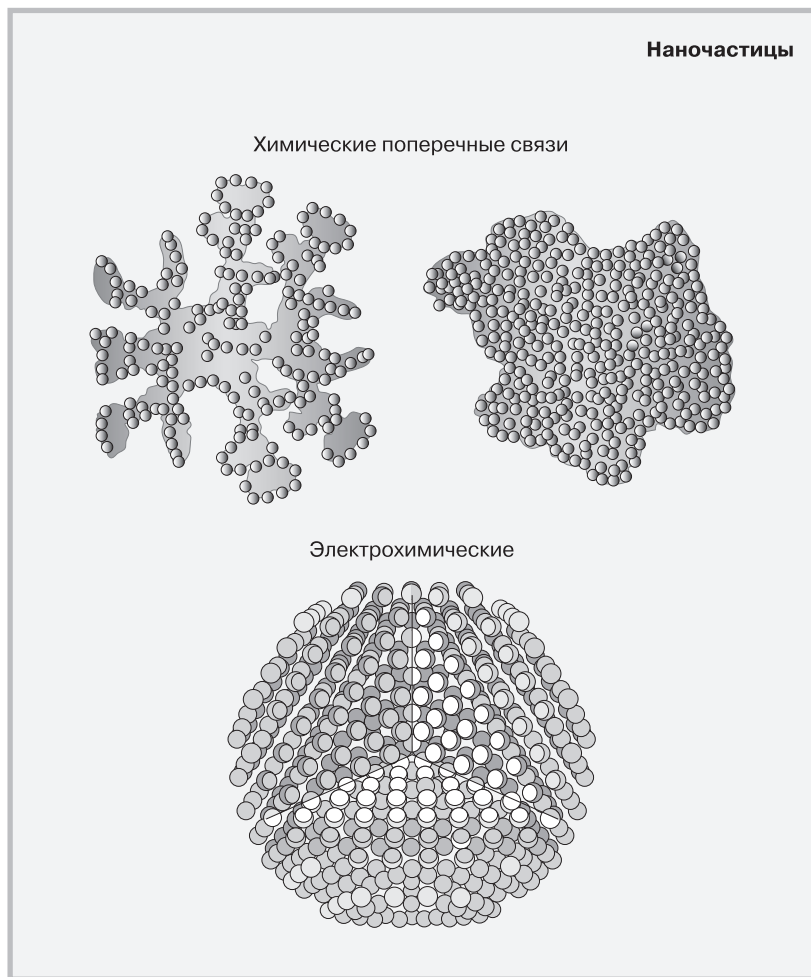


Рисунок Джеффри Хорда (Jeffrey L. Ward)

Молекулярные роботы будут патрулировать нашу кровь, распознавая и уничтожая раковые клетки и патогены. Это будет настоящая революция в медицине

НАНОТЕХНОЛОГИИ

вынуждены были играть роль живого винта и толкать микропроцессор вперед. А поскольку бактерии эти были слегка магнитными, Мартель мог при помощи внешних магнитов направить их в любую нужную ему сторону.

Мне и самому удалось попробовать себя в роли погонщика бактерий. Я смотрел в микроскоп и видел там крохотный чип, который толкали перед собой несколько бактерий. Когда я нажимал кнопку, включался магнит, и чип начинал двигаться вправо. Когда я отпускал кнопку, чип останавливался, а затем начинал беспорядочно дергаться из стороны в сторону. Таким образом, я действительно управлял его движением. При этом я представлял себе, что когда-нибудь, возможно, врач нажатием подобной кнопки будет управлять движением наноботов в венах пациента.

Можно вообразить себе будущее, когда хирургию полностью заменят молекулярные машины, которые под управлением магнитов будут свободно передвигаться по системе кровообращения, собираться у больного органа, а затем высвободить лекарства или проводить хирургическую операцию. Технологии, при которых требовалось разрезать кожные покровы человека, могут полностью уйти в прошлое. К примеру, магниты могли бы подвести наномашины к сердцу пациента, где требуется устранить блокаду артерий.

ДНК-процессоры

Как мы уже упоминали в главе 3, в будущем в нашей одежде, теле и ванной комнате будут присутствовать крохотные датчики, постоянно следящие за здоровьем хозяина и способные распознать болезни, такие как рак, за несколько лет до того, как они начнут представлять опасность. Ключ к этому — ДНК-чип, или ДНК-процессор, который, по обещаниям ученых, станет настоящей «микросхемой-лабораторией». Подобно трикордерам «Звездного пути», эти крохотные датчики будут за несколько

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

минут проводить полный комплекс медицинских анализов и выдавать результат.

Сегодня проверка на рак — это долгий, дорогой и трудоемкий процесс, часто занимающий не одну неделю. Понятно, что количество пациентов, которых медики могут проверить, при таких условиях сильно ограничено. Однако компьютерные технологии меняют эту ситуацию. Ученые уже создают устройства, способные быстро и дешево распознать рак по определенным биомаркерам, выделяемым раковыми клетками.

Все та же технология травления, которая используется в производстве микросхем, позволяет вытравить на подложке такой микроскопический рельеф, при помощи которого можно будет распознавать специфичные для раковых клеток ДНК-последовательности.

Технология травления позволяет встроить в микросхему фрагменты ДНК. Эти фрагменты способны связываться с конкретными генными последовательностями, вылавливая их из текущей жидкости. Затем при помощи лазера можно быстро просканировать всю прилегающую область и найти соответствующие гены. Таким образом, гены не приходится считывать по одному, как раньше, а можно сканировать целыми тысячами за раз.

В 1997 г. компания Affymetrix выпустила на рынок первый коммерческий ДНК-чип, способный быстро проанализировать 50 000 ДНК-последовательностей. Уже в 2000 г. за несколько тысяч долларов можно было сделать 400 000 ДНК-проб. К 2002 г. цена упала до 200 долларов, при этом микросхемы-анализаторы стали еще более мощными. Цены, согласно закону Мура, продолжают падать и упадут до нескольких долларов.

Шейна Келли (Shana Kelley), профессор Медицинской школы при Университете Торонто, говорит: «Сегодня для оценки клинически значимого образца раковых биомаркеров вам потребуется целая комната компьютеров, и результата придется подождать. Мы научились измерять биомолекулы

НАНОТЕХНОЛОГИИ

при помощи электронного чипа размером с кончик пальца». Она предвидит день, когда все оборудование, необходимое для анализа, уменьшится до размеров сотового телефона. Создание микросхемы-лаборатории будет означать, что каждый сможет использовать в собственной ванной химическую лабораторию, которую сегодня можно найти в хорошей больнице или в университете, только втиснутую в один-единственный чип.

Врачи Массачусетской больницы общей практики сконструировали собственный биочип, в 100 раз более мощный, чем все, что есть сегодня на рынке. Обычно, когда в крови появляются циркулирующие опухолевые клетки, их там очень немного — меньше чем одна на миллион, — но со временем они, получив возможность беспрепятственно размножаться, могут убить человека. Новый биочип достаточно чувствителен, чтобы обнаружить циркулирующие в крови опухолевые клетки, даже если их там всего одна на миллиард. В результате экспериментально доказано, что этот чип способен всего по нескольким миллилитрам крови распознать рак легких, простаты, поджелудочной железы, груди и кишечника.

При помощи стандартной технологии травления изготавливают чипы, на которых размещается 78 000 микроскопических стержней (высотой 100 микрон каждый). Под электронным микроскопом эта поверхность выглядит как вырубка с торчащими пеньками. Каждый выступ покрывают антителом к адгезивной молекуле эпителиальных клеток, которая присутствует во многих типах раковых клеток, но отсутствует в обычных клетках. Эта молекула необходима раковым клеткам для взаимодействия друг с другом при формировании опухоли. Если пропускать кровь по чипу, циркулирующие в крови опухолевые клетки прилипают к шпешкам. При клинических испытаниях этот чип успешно распознал рак у 115 из 116 пациентов.

Помимо всего прочего, широкое распространение таких чипов-лабораторий радикально изменит стоимость диагностики болезней. В настоящее время биопсия или химический ана-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

лиз может стоить несколько сотен долларов и продолжаться несколько недель. В будущем она, скорее всего, будет обходиться буквально в копейки и занимать несколько минут. Скорость и доступность диагностики рака резко вырастут. Можно представить, к примеру, что каждый раз при чистке зубов мы будем проходить тщательную проверку на множество разных болезней, включая рак.

Лерой Худ (Leroy Hood) и его коллеги из Вашингтонского университета создали чип размером около 4 см, способный обнаруживать определенные белки по одной-единственной капле крови. Белки — строительный материал жизни. Все в нас — мышцы, кожа, волосы, гормоны и ферменты — состоит из белков. Разработка технологии поиска белков, характерных для различных болезней вроде рака, могла бы привести к созданию системы раннего предупреждения. В настоящее время такой чип стоит всего 10 центов и может определить какой-то конкретный белок в течение десяти минут; можно сказать, что он в несколько миллионов раз более эффективен, чем предыдущая система. Худ считает, что наступит день, когда чип-анализатор сможет быстро проверить сотни тысяч белков и предостеречь человека от множества болезней за несколько лет до того, как они приобретут сколько-нибудь серьезный характер.

Углеродные нанотрубки

Довольно наглядное представление о мощи нанотехнологий можно получить при взгляде на углеродные нанотрубки. В принципе известно, что они прочнее стали и к тому же проводят электричество, что сразу наводит на мысль об углеродных компьютерах. Но есть и проблема: для настоящей прочности такие трубки должны быть цельными, а самый длинный на сегодняшний день фрагмент чистого углеродного волокна составляет в длину всего несколько сантиметров. Но когда-нибудь из углеродных нанотрубок можно будет делать целые компьютеры и иные молекулярные структуры.

НАНОТЕХНОЛОГИИ

Углеродные нанотрубки состоят из отдельных атомов углерода, соединенных между собой в форме трубки. Представьте себе обычную садовую сетку, где каждое проволочное перекрестье представляет собой атом углерода. А теперь скатайте сетку в рулон — и получите геометрию углеродной нанотрубки. Такие нанотрубки возникают естественным образом всякий раз, когда образуется печная сажа, но ученым никогда не приходило в голову, что атомы углерода могут связываться еще и в такой неожиданной геометрии.

Поистине чудесными свойствами углеродные нанотрубки обязаны своей атомной структуре. Как правило, любой твердый кусок вещества, скажем камень или кусок дерева, представляет собой конгломерат из множества перекрывающихся структур. В такой смеси легко возникают трещины, а значит, такие предметы легко ломаются. Из этого следует, что прочность вещества определяется несовершенством его молекулярной структуры. Но не всегда это несовершенство заключается в нарушениях правильной структуры. К примеру, графит тоже представляет собой чистый углерод, но мы знаем, что это очень мягкий материал, поскольку он состоит из слоев углеродных атомов. Слои связаны между собой слабее, чем атомы внутри слоя, где каждый атом связан с тремя соседними, и могут легко скользить друг по другу.

Алмаз — это тоже чистый углерод, но одновременно это самый прочный природный минерал. Атомы углерода в алмазе организованы в плотную кристаллическую решетку с сильными связями, что и придает этому минералу его феноменальную прочность. Так же и углеродные нанотрубки обязаны своими поразительными свойствами правильной атомной структуре.

Углеродные нанотрубки постепенно прокладывают себе путь в промышленность. Благодаря хорошей проводимости из них можно делать кабели для мощных линий электропередач. Благодаря прочности их можно использовать для создания материалов более прочных, чем кевлар.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Однако самое важное, возможно, применение углеродные нанотрубки найдут в компьютерном деле. Углерод — один из нескольких кандидатов на замену кремния в качестве основы компьютерных технологий. Не исключено, что когда-нибудь будущее мировой экономики будет зависеть от ответа на вопрос: что заменит кремний?

Послекремниевая эпоха

Мы уже говорили, что закон Мура — фундамент информационной революции — не будет работать вечно. Не исключено, что страна, которой удастся первой найти подходящую замену кремнию, будет определять судьбы мира.

Когда рухнет закон Мура? Этот вопрос уже давно сотрясает мировую экономику. В 2007 г. самого Гордона Мура спросили, сможет ли знаменитый закон, названный его именем, работать всегда. «Разумеется, нет», — сказал Мур и предсказал, что его действие прекратится через десять–пятнадцать лет.

Примерно так же оценил перспективы компьютерной отрасли Паоло Гардини, сотрудник фирмы Intel, отвечающий за внешние исследования. Поскольку Intel Corporation задает тон всей полупроводниковой промышленности, слова Гардини подверглись тщательному анализу. В 2004 г. на ежегодной конференции Semicon West он сказал: «Мы понимаем, что можем продержаться на законе Мура еще по крайней мере лет пятнадцать–двадцать».

Движущей силой нынешней революции в мире кремниевых компьютеров является один принципиальный факт: способность УФ-излучения наносить на кремниевую подложку все более и более миниатюрные транзисторы, которые затем вытравливаются. Сегодня в процессоре Pentium на площади размером с ноготь может уместиться несколько сотен миллионов транзисторов. Поскольку длину волны УФ-излучения можно уменьшить до 10 нм, технология травления позволяет получать

НАНОТЕХНОЛОГИИ

компоненты всего по 30 атомов в поперечнике. Но процесс миниатюризации не может продолжаться вечно. Рано или поздно он остановится по нескольким причинам.

Во-первых тепло, выделяемое мощными микросхемами, рано или поздно начнет их плавить. Поэтому не годится предложенное кем-то наивное решение — наложить несколько микросхем одна на другую, создав кубический чип. Да, это увеличит мощность процессора, но лишь ценой большего тепловыделения. Кубический чип выделяет так много жара, что на нем можно приготовить яичницу. К тому же кубическая форма затрудняет теплообмен, поскольку из всех параллелепипедов куб имеет минимальную площадь поверхности. Представьте: если увеличить сторону куба вдвое, то его объем (а значит, и выделяемое им тепло) вырастет в восемь раз, а площадь поверхности — только вчетверо. Это значит, что у кубического чипа количество выделяемого тепла с увеличением размеров растёт вдвое быстрее, чем возможность охлаждения. Очевидно, кубические чипы — всего лишь частичное, временное решение проблемы.

Кое-кто предлагал использовать для травления микросхем не УФ-излучение, а рентгеновские лучи. В принципе это могло бы сработать, поскольку длина волны у рентгеновского излучения может быть в 100 раз меньше, чем у ультрафиолетового света. Но за все надо платить. При переходе с УФ на рентген энергия луча также увеличивается примерно в 100 раз. Это означает, что травление рентгеновским излучением может попросту погубить подложку, на которой вы пытаетесь что-то изобразить. Попытку применить рентген для литографии можно сравнить с попыткой художника изваять тонкую скульптуру при помощи паяльной лампы. Рентгеновская литография требует строжайшего контроля всех параметров и может служить лишь временным решением.

Во-вторых, существует фундаментальная проблема, проистекающая непосредственно из квантовой теории: принцип

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

неопределенности, который утверждает, что нельзя точно знать одновременно положение и скорость атома или частицы. В сегодняшнем процессоре Pentium толщина слоя составляет около 30 атомов. К 2020 г. она может уменьшиться до пяти атомов; при этом электроны, из-за неопределенности своего положения, начнут просачиваться сквозь слои, вызывая короткое замыкание. Таким образом, для размера кремниевых компьютеров существует квантовое ограничение.

Как я уже упоминал, в своем обращении к 3000 лучших инженеров Microsoft в штаб-квартире компании в Сиэтле я сделал акцент на проблеме прекращения действия закона Мура. Лучшие творцы программного обеспечения признались мне, что в настоящее время компания воспринимает эту проблему очень серьезно, и одно из основных предлагаемых решений — параллельная обработка данных. Простейший способ реализовать такую схему — поставить в параллель несколько процессоров и разбивать каждую задачу на части, а затем, в конце, вновь собирать результат.

Параллельная обработка данных — одна из ключевых особенностей работы нашего мозга. Если снять с работающего мозга магнитно-резонансную томограмму, выяснится, что одновременно включается несколько разных участков. Это означает, что мозг разбивает задачу на маленькие кусочки и решает их одновременно. Именно поэтому нейроны (передающие электрические сигналы с крайне низкой скоростью — около 100 метров в секунду) могут работать лучше суперкомпьютера, в котором сигналы бегают почти со скоростью света. Проигрывая в скорости, человеческий мозг берет тем, что проводит миллиарды крошечных операций одновременно, а затем сводит результаты воедино.

Трудность с параллельной обработкой данных состоит в том, что каждую задачу необходимо предварительно разбить на несколько частей. Затем части обрабатываются разными процессорами, а в конце все это вновь собирается воедино.

Координация разбивки и сборки может оказаться чрезвычайно сложным делом, причем эта процедура сильно зависит от конкретной задачи; универсальный алгоритм найти очень трудно. Человеческий мозг делает это без заметных усилий, но мать-природа располагала миллионами лет для решения этой задачи, а наши программисты работают над ней всего около десяти лет.

Атомные транзисторы

Одна из возможных замен кремниевых чипов — транзисторы, собранные из отдельных атомов. Если кремниевые транзисторы начинают отказывать, поскольку проводники и слои в микросхемах уменьшаются до атомных размеров, то почему бы не начать все заново и не научиться считать на атомах?

В частности, что-то подобное можно реализовать на молекулярных транзисторах. Транзистор — это ключ, позволяющий контролировать ток по проводнику. Вообще говоря, кремниевый транзистор можно заменить одной сложной молекулой или, вернее, двумя механически связанными молекулами, такими, к примеру, как ротаксан и тиофенол. Внешне молекула тиофенола выглядит как длинная гантелевидная трубка с кольцевой «ручкой» посередине. В обычных условиях электричество свободно проходит сквозь трубку, делая ее проводящей. Но если «повернуть ручку», электрический ток будет перекрыт. Таким образом, молекула действует как ключ, контролирующей протекание электрического тока. Если назвать состояние, когда ток проходит через молекулу, «1», а запертое состояние — «0», то получится, что при помощи всего одной составной молекулы можно передавать цифровые сообщения.

Молекулярные транзисторы уже существуют. Несколько крупных корпораций объявило о создании транзисторов на базе отдельных молекул. Однако о коммерческом использовании говорить пока рано; прежде необходимо научиться корректно

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

включать эти устройства в электрическую цепь, а также разработать технологию их массового производства.

Перспективный кандидат на роль молекулярного транзистора имеется в классе веществ, получивших название графенов, которые впервые выделили из графита в 2004 г. Андрей Гейм и Константин Новоселов из Манчестерского университета, удостоенные за свою работу Нобелевской премии. Графен напоминает одиночный слой графита. В отличие от углеродных нанотрубок, которые представляют собой графитовое полотно, скрученное в длинную тонкую трубку, графен — плоское углеродное полотно толщиной всего в один атом. Подобно углеродным нанотрубкам, графен — новое состояние вещества, и сейчас ученые разбираются в его удивительных свойствах, включая и электрическую проводимость. «С точки зрения физики графен — просто золотая жила. Его можно изучать бесконечно», — замечает Новоселов. (Кроме того, графен — самый прочный материал, с которым до сих пор сталкивалась наука. Если поместить слона на карандаш и поставить карандаш на графеновое полотно, оно не порвется.)

Группе Новоселова удалось при помощи стандартной технологии, используемой в производстве компьютеров, вырезать самые маленькие, наверное, известные на сегодняшний день транзисторы. При помощи узкого пучка электронов можно вырезать в графене каналы, создавая таким образом транзисторы толщиной в один атом и десять атомов в поперечнике. (В настоящее время самые маленькие молекулярные транзисторы имеют размер около 30 нм. Самые мелкие транзисторы Новоселова получились еще в тридцать раз меньше.)

Эти графеновые транзисторы настолько малы, что представляют собой абсолютный предел для молекулярных транзисторов вообще. Если сделать транзистор еще меньше, в дело вступит принцип неопределенности и начнется утечка электронов. «Меньше этого, пожалуй, уже не получишь», — говорит Новоселов.

НАНОТЕХНОЛОГИИ

На роль молекулярного транзистора есть и другие перспективные кандидаты, но настоящая проблема здесь куда более приземленная: как подключать их в цепь и как собирать из них коммерчески жизнеспособный продукт. Дело в том, что мало создать один молекулярный транзистор. Молекулярными транзисторами очень трудно манипулировать, что само по себе достаточно очевидно, — ведь они могут быть в тысячи раз тоньше человеческого волоса. Придумать технологию их массового производства — сложнейшая задача, и в настоящее время такой технологии не существует.

К примеру, графен — настолько новый материал, что пока не ясно, как можно получить его в больших количествах. Ученые могут изготовить лишь около 0,1 мм чистого графена, что, конечно же, слишком мало для коммерческого применения. Остается надеяться лишь на то, что когда-нибудь будет найден процесс самосборки молекулярных транзисторов. В природе иногда встречаются группы молекул, самоорганизовавшиеся, будто по волшебству, в идеальную структуру. До сих пор никому не удалось надежно воспроизвести подобный процесс.

Квантовые компьютеры

Самое, пожалуй, амбициозное предложение состоит в том, чтобы использовать квантовые компьютеры, вычисления в которых проводятся на отдельных атомах. Некоторые ученые утверждают, что квантовые компьютеры — идеал и конечная цель, поскольку атом — мельчайшая единица, на которой можно производить вычисления.

Атом похож на крутящийся волчок. В принципе можно хранить цифровую информацию в группе крутящихся волчков, если условно считать волчок, вращающийся по часовой стрелке, цифрой 0, а против часовой стрелки — цифрой 1. Если вы перевернете один из волчков, 0 сменится 1 (или наоборот) и получится, что вы произвели некое действие.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Но в странном квантовом мире атом в каком-то смысле вращается одновременно и по часовой стрелке, и против нее. (Мы помним, что в квантовом мире находиться одновременно в нескольких местах считается нормальным.) Поэтому получается, что атом может хранить значительно больше информации, чем просто 0 или 1. Его состояние может описывать произвольную смесь 0 и 1. Так что квантовые компьютеры пользуются не битами, а «кубитами» информации. К примеру, какой-то конкретный атом может крутиться на 25% по и на 75% против часовой стрелки. Понятно, что информации здесь куда больше, чем один бит.

Квантовые компьютеры настолько мощны, что ЦРУ уже думает о потенциальной возможности использовать их для взлома кодов. В сущности, взлом шифра любой страны мира сводится к поиску ключа, а ключи к современным шифрам устроены чрезвычайно хитро. К примеру, ключ может быть основан на разложении некоего большого числа на множители. Конечно, число 21 легко представить как произведение 3 и 7. А теперь представьте, что у вас есть целое число из ста цифр и вам нужно представить его как произведение двух других целых чисел. У цифрового компьютера на такую операцию может уйти лет сто. А вот квантовый компьютер будет настолько мощным, что сможет в принципе легко взломать любой подобный шифр. Вообще, на подобных задачах квантовый компьютер легко обгоняет обычный.

Квантовые компьютеры — не фантастика, они уже существуют. Я своими глазами видел квантовый компьютер, когда был в МТИ в лаборатории Сета Ллойда (Seth Lloyd), одного из пионеров в этой области. Его лаборатория забита компьютерами, вакуумными насосами и датчиками, но самое главное в его эксперименте — это машина, внешне напоминающая стандартный аппарат для МРТ, только в уменьшенном масштабе. Как и в МРТ-аппарате, в устройстве Ллойда имеется две большие катушки, создающие в пространстве между ними однородное

НАНОТЕХНОЛОГИИ

магнитное поле, в которое помещается образец. Оси всех атомов в образце параллельны, атомы стоят как вращающиеся волчки. Если атом смотрит вверх, он соответствует 0, если вниз — 1. Ллойд посылает в образец электромагнитный импульс, изменяющий положение атомов. Некоторые из них переворачиваются, т. е. 1 превращается в 0, или наоборот. Таким образом машина произвела некое вычислительное действие.

Так почему на наших столах до сих пор не стоят квантовые компьютеры? Почему не все шифры раскрыты и не все загадки Вселенной разгаданы? Ллойд признался мне: настоящая проблема с квантовыми компьютерами заключается во внешних раздражителях, которые очень легко нарушают хрупкое равновесие атомов и избавиться от которых необычайно сложно.

Когда атомы «когерентны» и колеблются синхронно друг с другом, их равновесие настолько тонко, что от наимельчайших внешних помех синхронность нарушается и они «декогерируют». Даже пролет космической частицы или грузовик под окнами лаборатории может нарушить когерентность атомов и погубить вычисления.

Проблема нарушения когерентности — самый серьезный барьер на пути создания квантовых компьютеров. Всякий, кто сумеет ее решить, не только получит Нобелевскую премию, но и станет богатейшим человеком на свете.

Можно без труда представить, что создание квантовых компьютеров из отдельных когерентных атомов — тяжелый процесс, поскольку атомы быстро декогерируют и сбиваются с ритма. До сих пор самым сложным вычислением, которое удалось провести на квантовом компьютере, является $3 \times 5 = 15$. Выглядит, конечно, несолидно, но вспомните: это вычисление произведено на отдельных атомах.

Существует и еще одна странная проблема, берущая начало в квантовой теории и конкретно в принципе неопределенности. Все вычисления, проведенные на квантовых компьютерах, по сути своей обладают некой неопределенностью, так что любое

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

вычисление необходимо проводить множество раз. Дважды плюс два будет четыре... по крайней мере иногда. Если повторить эту операцию много раз, ответ усреднится и вы действительно получите 4. Так что даже арифметика на квантовом компьютере становится какой-то расплывчатой.

Никто не знает, когда будет решена проблема декогерентности. Винтон Серф (Vinton Cerf), один из создателей Интернета, предсказывает: «К 2050 г. мы наверняка найдем способы проводить квантовые расчеты при комнатной температуре».

Необходимо также указать, что ставки в этой игре настолько высоки, что ученые одновременно исследуют несколько разновидностей новых компьютеров. Перечислим некоторые из конкурирующих конструкций.

- **Оптические компьютеры.** Эти компьютеры считают скорее на световых лучах, чем на электронах. Поскольку лучи света способны проходить сквозь друг друга, оптические компьютеры обещают то преимущество, что их можно будет сделать кубическими, без всяких проводов. Кроме того, лазеры можно изготавливать при помощи все той же литографической технологии травления, что и обычные сегодняшние транзисторы, так что теоретически на одну подложку можно впихнуть миллионы лазеров.
- **Компьютеры на квантовой точке.** Из полупроводникового материала, используемого в микросхемах, можно вытравить крохотные точки, настолько маленькие, что содержат, к примеру, всего по 100 атомов. При таком размере точки атомы могут стать когерентными и вибрировать в унисон. В 2009 г. была получена самая маленькая в мире квантовая точка, состоящая из одного атома. Вообще, квантовые точки уже доказали свою полезность в светоизлучающих диодах и компьютерных экранах. В будущем, если мы

НАНОТЕХНОЛОГИИ

научимся корректно обращаться с такими точками, из них может получиться даже квантовый компьютер.

- **Компьютеры на основе ДНК.** Первый компьютер на основе ДНК-молекулы был изготовлен в 1994 г. в Университете Южной Калифорнии. Поскольку нить ДНК кодирует информацию при помощи аминокислот, обозначаемых буквами А, Т, С, G, вместо нулей и единиц, ее можно рассматривать как обычную компьютерную запись, только более емкую. Если обычный компьютер производит операции с большими числами посредством сдвигов и перестановок, то аналоговые операции можно производить физически, смешивая в пробирках жидкости, содержащие молекулы ДНК, которые можно всячески резать и сшивать. Процесс идет медленно, но одновременно работает так много молекул ДНК, что некоторые вычисления таким образом производить выгоднее, чем на цифровом компьютере. Хотя, конечно, цифровой компьютер удобнее: его можно поместить в корпус сотового телефона, а для работы ДНК-компьютера надо смешивать в пробирках ДНК-содержащие жидкости.

СЕРЕДИНА ВЕКА (2030–2070 гг.)

Изменение формы

В фильме «Терминатор-2: Судный день» работа в исполнении Арнольда Шварценеггера атакует робот более продвинутой модели из будущего, некий T-1000, изготовленный из жидкого металла. В неоформленном состоянии этот робот напоминает дрожашую массу жидкой ртути; он способен произвольно изменять форму и просачиваться сквозь любые препятствия. Он может проникнуть в крохотную щель и превратить в смертельное оружие собственные руки и ноги, а затем внезапно вернуть себе первоначальную форму и продолжить свой убийственный

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

путь. Кажется, что T-1000 — это идеальная машина для убийства и остановить ее невозможно.

Конечно, все это фантастика. Сегодняшняя технология не позволяет произвольно изменять форму твердого объекта. Тем не менее к середине века технология изменения формы в каком-то виде может войти в наш быт. И это не просто разговоры; достаточно сказать, что среди основных компаний, занятых этой проблемой, такая серьезная фирма, как Intel.

По иронии судьбы к 2050 г. результаты, полученные при помощи нанотехнологий, распространятся повсюду, при этом оставаясь незаметными. Чуть ли не каждый продукт будет модифицирован при помощи молекулярных технологий — он станет сверхпрочным, неуязвимым и гибким. Датчики, созданные на основе нанотехнологий, будут круглые сутки защищать нас и оказывать помощь; они будут всюду, но скрыты из глаз. Внешне все будет выглядеть примерно так же, как сегодня, так что обычные люди даже не узнают, насколько нанотехнологии изменили мир вокруг нас.

Но одно из достижений нанотехнологии всегда будет на виду.

T-1000, робот-убийца из «Терминатора» — это, возможно, самый наглядный пример объекта из области так называемой «программируемой материи», благодаря которой мы однажды получим возможность одним нажатием кнопки изменять форму, цвет и физические свойства объекта. На примитивном уровне даже обычная неоновая реклама — тоже форма программируемого вещества, потому что мы можем в любой момент щелкнуть выключателем — и в наполненной газом трубке возникнет электрический ток. Электричество возбуждает атомы газа, которые затем возвращаются в нормальное состояние и одновременно излучают свет. Более сложный вариант — LCD-дисплей обычного компьютера. В нем содержится жидкий кристалл, который под воздействием слабого электрического тока становится непрозрачным. Регулируя ток, протекающий в жидком кристал-

НАНОТЕХНОЛОГИИ

ле, можно нажатием кнопки получать на экране изображения и цвета.

Ученые Intel метят гораздо выше и хотят добиться, чтобы программируемая материя на самом деле меняла форму твердого объекта — в точности как в фантастике. Идея проста: создать компьютерный чип в форме крохотной песчинки. Эти умные песчинки должны обладать способностью по команде менять статический электрический заряд на поверхности и вследствие этого притягиваться друг к другу или отталкиваться друг от друга. При одном распределении зарядов эти частицы выстроятся и образуют определенную форму. Но стоит их перепрограммировать — и электрические заряды изменятся, и частицы переместятся таким образом, чтобы сформировать совершенно иной объект. Такие «песчинки» получили название «катомов» (или клейтронных атомов), поскольку из них, как из атомов, можно сформировать множество различных объектов при помощи просто изменения их зарядов. (У программируемой материи много общего с модульными роботами, о которых мы говорили в главе 2. Но если модульные роботы строятся из умных блоков размером около 5 см, которые способны самоорганизоваться в различных формах, то в программируемой материи эти элементарные кирпичики съеживаются до миллиметровых и субмиллиметровых размеров.)

Один из горячих сторонников этой технологии — Джейсон Кэмпбелл (Jason Campbell), старший исследователь фирмы Intel. Он говорит: «Представьте себе мобильное устройство. К примеру, мой сотовый телефон слишком велик, чтобы удобно умещаться в кармане, и слишком мал для удобного набора цифр. Еще хуже, если я пытаюсь смотреть на нем фильмы или разбирать электронную почту. Но будь у меня 200–300 миллилитров катомов, я мог бы заставить их принимать каждый раз форму того устройства, которое нужно мне в данный момент». Так что представьте, что у меня в руках сотовый телефон. В следующий момент он изменяется и превращается во что-то

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

другое. Таким образом, мне не приходится носить с собой так много электронных гаджетов.

Компания Intel в своих лабораториях уже создала систему катомов размером около 2,5 см. Катом по форме напоминает детский кубик с десятками крошечных электродов, равномерно распределенных по каждой стороне. Этот катом уникален, потому что вы можете изменять заряды на каждом из этих электродов, так что в результате катомы связываются друг с другом в разных ориентациях. При одном комплекте управляющих сигналов эти кубики могут собраться в один большой куб. Изменим заряд на каждом электроде — и кубики тут же рассыплются и быстро соберутся вновь уже иначе — скажем, в форме лодки.

Теперь задача заключается в том, чтобы уменьшить каждый катом до размеров песчинки или еще меньше. Если когда-нибудь технологии травления кремниевых компонент позволят нам создавать катомы размером с живую клетку, мы, вероятно, получим возможность реалистично превращать одну форму в другую одним нажатием кнопки. Джастин Раттнер (Justin Rattner), старший исследователь фирмы Intel, говорит: «В какой-то момент в ближайшие сорок лет эта технология станет обычной». Одними из первых, вероятно, ее начнут применять автомобильные дизайнеры, авиационные инженеры, художники, архитекторы и вообще все, кому приходится изготавливать трехмерные модели своих проектов, а затем модифицировать их до бесконечности. К примеру, можно будет взять модель четырехдверного седана, схватить, потянуть — и превратить его в хетчбэк. Сожмите модель по вертикали еще немножко — и она превратится в спортивный автомобиль. Это намного удобнее модельной глины, у которой нет ни памяти, ни разума. У программируемой материи есть разум, она может запоминать предыдущие формы, приспосабливаться к новым требованиям и отзываться на желания дизайнера. Как только модель закончена, ее «схему» можно просто разослать по e-mail тысячам других дизайнеров, которые смогут у себя в мастер-

НАНОТЕХНОЛОГИИ

ской практически мгновенно получить точную копию вашей модели.

Эта технология может самым решительным образом повлиять на множество чисто потребительских продуктов. Игрушки, к примеру, можно будет программировать на новую форму при помощи специальной программы. Так что к Рождеству нужно будет только скачать программу для новой игрушки, установить ее в старую — и появится совершенно новая. Можно представить, что дети на Рождество, вместо того чтобы разворачивать найденные под елкой подарки, будут скачивать программы для любимых игрушек, которые им по электронной почте прислал Дед Мороз. Получится, что самой необходимой вещью станут катомы, из которых построена прошлогодняя игрушка. Это означает, что множество всевозможных потребительских товаров со временем просто исчезнет, вернее, превратится в рассылаемые по Интернету компьютерные программы; вам же не потребуются нанимать грузовик, чтобы доставить домой новую мебель или крупную бытовую технику; достаточно просто скачать из сети программу и «перелицевать» старые вещи. Вообще, с программируемой материей ремонт домов и квартир перестанет быть таким мучительным. Чтобы заменить в кухне плитку, столешницы, оборудование и шкафчики, возможно, достаточно будет нажать кнопку.

Помимо всего прочего эта технология поможет решить проблему отходов. Вместо того чтобы выбрасывать ненужные вещи, их можно будет просто перепрограммировать. Если что-то сломается — обновить программу, и вещь опять станет новой.

Эта технология обещает невероятные перспективы, но и проблем перед ее создателями стоит немало. Одна из них — как организовать и упорядочить движение всех этих миллионов катомов. При загрузке в программируемую материю необходимой информации наверняка возникнет проблема с шириной канала. Но намечаются уже и кое-какие принципиальные решения.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

К примеру, в фантастических фильмах, как правило, показывают процесс превращения — человек, скажем, внезапно превращается в чудовище. Раньше съемка подобных вещей представляла собой очень сложный и трудоемкий процесс, но сегодня их с легкостью делает компьютер. Для этого сначала надо задать — и для человека, и для чудовища — несколько векторов, отмечающих ключевые точки лица, такие как нос и глаза. Затем компьютер получает задание превратить векторы одного лица в векторы другого крохотными шажками; при этом на экране также происходит постепенный переход одного лица в другое. Возможно, при изменении формы трехмерного объекта удастся воспользоваться примерно таким же принципом ключевых векторов.

Еще одна проблема заключается в том, что статические электрические силы, связывающие катомы, намного слабее межатомных связей, которые обеспечивают целостность большинства твердых объектов. Как мы уже видели, квантовые силы могут быть достаточно мощными, именно они обеспечивают металлу твердость, а пластику эластичность. Сымитировать эти квантовые силы при помощи сил электростатического притяжения и обеспечить стабильность полученных предметов — задача будущего.

Мне довелось своими глазами увидеть замечательные, стремительные успехи ученых в области программируемой материи, когда я вместе со съемочной группой канала Science посетил лабораторию Сета Голдстейна (Seth Goldstein) в Университете Карнеги–Меллон. Там на столах можно увидеть большие пирамиды кубиков разного размера, но непременно с чипами внутри. Я видел, как два таких кубика соединили при помощи электрических сил, и хозяин лаборатории попросил меня попытаться оторвать их друг от друга руками. Как ни странно, я не сумел этого сделать. Я обнаружил, что электрические силы, связывающие два кубика, сильнее меня. К тому же, указывает Голдстейн, при уменьшении кубиков связывающие их силы со-

НАНОТЕХНОЛОГИИ

ответственно возрастут. Он отвел меня в другую лабораторию, где показал, насколько мелкими в будущем могут стать катомы. Та же технология, что позволяет вытравить на кремниевой подложке миллионы транзисторов, позволяет и вырезать микроскопические катомы размером меньше миллиметра. На самом деле они были такими мелкими, что мне пришлось рассматривать их в микроскоп. Гольдштейн надеется, что когда-нибудь, научившись контролировать электрические силы этих катомов, он сможет одним нажатием кнопки заставить их соединиться в объект любой формы — почти как волшебник, который мановением руки и заклинанием создает любые вещи.

Я спросил, как можно дать подробные инструкции миллиардам и миллиардам катомов, чтобы, скажем, холодильник мгновенно превратился в кухонную плиту. На первый взгляд такая задача кажется кошмаром программиста. Но он ответил, что не обязательно давать подробные инструкции каждому отдельному катому. Каждый из них должен знать только своих непосредственных соседей, этого достаточно. Таким образом, каждый катом получает задание связаться с небольшой группой соседних катомов — и вся сложнейшая структура волшебным образом преобразуется (примерно так же нейронам мозга младенца для развития достаточно узнать только, как связаться с соседними нейронами).

Если предположить, что проблемы программирования и стабильности решаемы, то существует вероятность, что к концу столетия по нажатию кнопки будут возводиться целые здания и даже города. Достаточно будет задать место расположения домов, выкопать котлованы для фундаментов — и триллионы катомов сами возведут в пустыне или девственном лесу целые города.

Надо сказать, инженеры Intel предвидят и такой день, когда катомы смогут принять человеческую форму. «Почему нет? Об этом интересно порассуждать», — говорит Раттнер. (Тогда, возможно, и робот T-1000 может стать реальностью.)

ДАЛЕКОЕ БУДУЩЕЕ (2070–2100 гг.)

Священный Грааль: репликатор

К 2100 г. самые смелые сторонники нанотехнологий предсказывают появление еще более мощной машины: речь идет о молекулярном сборщике, или «репликаторе», способном сотворить любую вещь. Это будет машина размером, скажем, со стиральную. В нее надо будет заложить сырье и нажать на кнопку. Многие триллионы наноботов тут же набросятся на сырье и разберут его на молекулы, а затем соберут из этих молекул совершенно новый объект. Репликатор сможет изготовить любую вещь; он станет высшим достижением науки и инженерной мысли, достойным завершением усилий, начатых в доисторические времена, когда человек поднял с земли палку и впервые использовал ее как орудие труда.

Одна из проблем создания репликатора — громадное число атомов, которые надо будет расставить по местам, чтобы скопировать даже небольшой объект. В человеческом теле, к примеру, более 50 трлн клеток и более 10^{26} атомов. Это колоссальное число, даже для простого хранения информации о местоположении всех этих атомов потребуется огромный объем памяти.

Эту проблему могло бы решить создание специального нанобота — гипотетического на данный момент молекулярного робота, обладающего несколькими ключевыми свойствами. Во-первых, он должен быть способен воспроизводить себя. Если робот может воспроизвести себя один раз, он в принципе может и создать неограниченное число собственных копий. Так что главное — создать первого наноробота. Во-вторых, этот робот должен уметь распознавать молекулы и разрезать их в нужных местах. В-третьих, он должен уметь собирать из атомов новые молекулы по заданной схеме. Таким образом, задача реорганизации 10^{26} атомов сводится к изготовлению такого же количества наноботов, запрограммированных на работу с отдельным атомом. Если это удастся сделать, огромное число атомов в теле

или объекте уже не будет непреодолимым препятствием. Настоящая проблема — создать всего одного мифического нанобота с перечисленными свойствами и позволить ему размножиться самостоятельно.

Однако научное сообщество пока не пришло к единому выводу относительно физической реализуемости этой великолепной мечты — нанофабрикатора. Немногие, такие как Эрик Дрекслер (Eric Drexler), пионер нанотехнологий и автор книги «Двигатели созидания», считают, что в будущем все вещи будут производиться на молекулярном уровне. Практически нужные вещи, даже те, о которых сегодня мы можем только мечтать, будут сыпаться как из рога изобилия. Создание машины, способной сделать все что угодно, перевернет устои общества с ног на голову. Однако другие ученые настроены более скептически.

К примеру, нобелевский лауреат Ричард Смолли, ныне покойный, в статье в журнале *Scientific American* в 2001 г. поднял вопрос о «липких» и «толстых» пальцах. Ключевой вопрос здесь такой: можно ли построить молекулярный нанобот, достаточно ловкий, чтобы произвольно переставлять молекулы? По мнению Смолли, ответ на этот вопрос должен быть отрицательным.

Дебаты на данную тему выплеснулись наружу и стали публичными, а их отголоски слышны и сегодня. Смолли обменялся с Дрекслером серией писем, которые в 2003 и 2004 гг. были перепечатаны на страницах журнала *Chemical and Engineering News*. Позиция Смолли состояла в том, что «пальцы» молекулярной машины не смогут выполнять требуемые тонкие операции по двум причинам.

Во-первых, на «пальцы» будут действовать слабые силы притяжения, из-за которых инструмент будет прилипать к молекулам. Вообще, атомы липнут друг к другу, в частности, из-за слабых электрических сил, таких как сила Ван-дер-Ваальса, существующая между их электронами. Представьте себе процедуру починки наручных часов при помощи пинцета, смазанного медом. Собрать подобным инструментом такую тонкую

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

вещь, как механизм часов, попросту невозможно. А теперь представьте процедуру сборки еще более сложной и тонкой вещи, такой как молекула, из «деталей», которые постоянно липнут к инструменту.

Во-вторых, «пальцы» нанобота могут оказаться слишком «толстыми» для манипуляций с атомами. Представьте себе ремонт все тех же часов в толстых рабочих перчатках строителя. «Пальцы» нанобота, как и объекты, которыми предполагается манипулировать, сделаны из отдельных атомов, и инструмент может оказаться слишком толстым и грубым для проведения необходимых тонких операций.

Смолли завершил свои аргументы так: «Примерно так же, как нельзя заставить юношу и девушку полюбить друг друга, просто сведя их вместе, невозможно заставить тонкий химический процесс между двумя молекулярными объектами протекать желаемым образом при помощи простого механического действия... Химия, как и любовь, дело тонкое».

Этот спор затрагивает самую суть вопроса о том, станет ли когда-нибудь репликатор революционной вехой в истории общества либо останется любопытной диковинкой и отправится рано или поздно на свалку нереализуемых технических идей. Как мы уже видели, физические законы нашего мира не так-то просто перевести на язык физики наномира. Эффекты, которыми мы с легкостью пренебрегаем, такие как сила Ван-дер-Ваальса, поверхностное натяжение жидкости, принцип неопределенности Гейзенберга и т. д., в наномире становятся главными.

Чтобы представить себе масштабы проблемы, вообразите атомы размером с шарик для детской игры и бассейн, полный таких шариков-атомов. Погружение в подобный бассейн будет совсем не похоже на погружение в воду. «Шарики» станут непрерывно вибрировать и биться о ваше тело со всех сторон — результат броуновского движения. Плавать в таком бассейне будет почти невозможно, все равно что плавать в паутине. При попытке схватить один из шариков он, из-за сложной

НАНОТЕХНОЛОГИИ

комбинации различных сил, либо ускользнет от ваших пальцев, либо прочно прилипнет к ним.

В конце концов ученые согласились остаться каждый при своем мнении. Смолли не удалось отправить идею молекулярного репликатора в нокаут, но после этой научной схватки, когда пыль немного улеглась, кое-что все же прояснилось. Во-первых, стороны согласились, что наивная идея о наноботе, разрезающем и склеивающем молекулы при помощи молекулярного пинцета, нуждается в переработке. На атомном уровне главенство переходит к новым квантовым силам.

Во-вторых, хотя репликатор, или универсальный производитель, на сегодняшний день остается фантастикой, в реальности-то он существует! К примеру, мать-природа умеет превратить съеденные гамбургеры и овощи в младенца всего за девять месяцев. Занимаются этим ДНК-молекулы (в которых хранится «чертеж» младенца); они управляют действиями рибосом (которые, собственно, режут и склеивают молекулы в заданном порядке) и используют в качестве строительного материала белки и аминокислоты, поступающие с пищей.

И в-третьих, молекулярный сборщик мог бы, в принципе, работать, но в более сложном варианте. К примеру, Смолли указывал, что сблизить два атома не означает добиться реакции между ними. Природа для решения этой проблемы часто привлекает третью силу — водный раствор фермента, способного стимулировать нужную химическую реакцию. Смолли указывал также, что многие химические вещества, используемые в компьютерах и электронной промышленности, не растворяются в воде. Но Дрекслер в ответ возражал, что не для всех химических реакций нужны ферменты или вода.

К примеру, один из возможных вариантов получил название самосборки; в робототехнике он соответствует подходу «снизу вверх». Человек с глубокой древности использовал в строительстве противоположный подход — «сверху вниз». Он брал инструменты, такие как молоток или пила, и начинал

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

заготавливать дерево: рубить, пилить, тесать; затем из заготовленных материалов собирал по плану более крупные структуры, такие как дом. Этот процесс требует тщательного контроля на каждом этапе.

При подходе «снизу вверх» объекты собираются сами по себе. В природе, к примеру, чудесные снежинки кристаллизуются сами во время снегопада или метели. Многие триллионы атомов сами организуются в новые формы. Никто не придумывает узоры для снежинок. То же нередко происходит и в биологических системах. Так, бактериальные рибосомы — сложные молекулярные системы, содержащие по крайней мере 55 различных белковых молекул и несколько молекул РНК, — способны спонтанно образоваться в лабораторной пробирке.

Самосборка применяется и в полупроводниковой промышленности. Используемые в транзисторах компоненты иногда собираются воедино сами по себе. Применяя различные сложные технологии и процессы в определенной строгой последовательности (такие, как быстрое охлаждение, кристаллизация, полимеризация, осаждение из паровой фазы, отверждение и т. п.), можно получить достаточно широкий спектр готовых компьютерных компонент. Как мы уже видели, таким способом можно получить определенные типы наночастиц, используемые против раковых клеток.

Однако в большинстве своем предметы не спешат возникать из ничего сами по себе. В целом можно сказать, что лишь крохотная часть наноматериалов показала способность к корректной самосборке. Посредством самосборки невозможно получить наномашину на заказ, выбрав по каталогу. Так что прогресс в производстве наномашин таким образом будет, вероятно, стабильным, но медленным.

Суммируем сказанное. Судя по всему, молекулярные сборщики не нарушают никаких законов природы, но создать их будет чрезвычайно трудно. Пока наноботов не существует, и в ближайшее время они не появятся, но как только (и если) первый

нанобот будет успешно изготовлен, человеческое общество, вполне возможно, изменится до неузнаваемости.

Создать репликатор

На что может быть похож репликатор? Как он может выглядеть? Никто точно этого не знает, поскольку до его создания остается еще не одно десятилетие, а может быть, и столетие. Мне, однако, довелось увидеть, как может выглядеть работа репликатора. Дело в том, что для научно-популярной передачи канала Science мою голову отсканировали (совершенно буквально) лазерным лучом, после чего изготовили реалистичную трехмерную пластиковую копию моего лица. При сканировании лазерный луч горизонтально двигался по моему лицу и отражался от кожи; отражение регистрировалось специальным датчиком и вводилось в компьютер. После этого луч направлялся на следующий проход, чуть ниже. Постепенно сканированию подверглось все мое лицо, и на экране появилось его трехмерное изображение с точностью, скажем, до десятой доли миллиметра, состоящее из тонких горизонтальных ломтиков.

Затем всю собранную информацию «скармили» большой установке размером примерно с холодильник — устройству, способному отлить пластиковое трехмерное изображение почти чего угодно. Это устройство снабжено тонким носиком, который движется горизонтально и совершает множество проходов. На каждом проходе он разбрызгивает тонким слоем расплавленный пластик, дублируя таким образом первоначальное лазерное изображение объекта — в данном случае моего лица. Примерно через десять минут и множество проходов машина выдала готовую пластиковую отливку, до боли напоминающую мое лицо.

Коммерческие перспективы применения этой технологии громадны, ведь вы можете всего за несколько минут создать реалистичную копию любого трехмерного объекта, такого, напри-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

мер, как сложная деталь машины. Однако нетрудно вообразить, как через несколько десятков или сотен лет подобная же машина будет выдавать трехмерные копии реальных объектов, абсолютно точные даже на клеточном и атомном уровнях.

На следующем уровне можно будет создавать при помощи такого трехмерного сканера не просто объекты, а живые органы человеческого тела. В Университете Уэйк Форест ученые предложили новый оригинальный способ создания живой сердечной ткани... при помощи струйного принтера. Для начала им пришлось написать аккуратную компьютерную программу, которая послойно, с каждым проходом каретки, разбрызгивает живые мышечные клетки. Они использовали для этой процедуры обычный струйный принтер, но заменили на нем картридж с чернилами на специальную емкость, куда поместили смесь различных жидкостей, содержащую живые клетки сердечной ткани. Таким образом ученые могут управлять размещением в пространстве каждой клетки. За множество проходов каретки им удалось реально получить слои сердечной ткани.

Есть и еще один инструмент, который когда-нибудь, возможно, позволит нам зарегистрировать точное местоположение каждого атома в человеческом теле. Это МРТ, магнитно-резонансный томограф. Как мы уже говорили, точность МРТ-сканирования составляет примерно десятую долю миллиметра. Это означает, что каждый пиксел даже чувствительного МРТ-скана соответствует тысячам клеток. Но если посмотреть на физические принципы, лежащие в основе метода МРТ, выяснится, что точность изображения определяется степенью однородности магнитного поля внутри машины. Поэтому, добиваясь, чтобы магнитное поле становилось все более однородным, можно заметно улучшить разрешение МРТ-аппарата.

Ученые уже говорят о создании машины по типу МРТ с разрешением около размеров клетки и даже меньше — такой, чтобы можно было с ее помощью различить при сканировании отдельные молекулы и атомы.

НАНОТЕХНОЛОГИИ

Подведем итоги. Репликатор как таковой не нарушает никаких законов природы, но создать его на принципах самосборки будет очень непросто. К концу этого столетия, когда человек овладеет наконец такой технологией, можно будет подумать о коммерческом применении репликаторов.

Серая слизь?

Некоторые люди, в том числе и основатель Sun Microsystems Билл Джой (Bill Joy), не раз выражали сомнения в перспективности нанотехнологий. Джой писал, что техника непременно выйдет из-под контроля человека, что это лишь вопрос времени. Взбесившиеся нанороботы сожрут все минералы на Земле и оставят после себя одну только бесполезную серую слизь. Даже наследник британского престола принц Чарльз выступал против нанотехнологий и сценария с серой слизью.

Опасность кроется в основном свойстве наноботов: способности к самовоспроизведению. Наноботов, выпущенных в окружающую среду, невозможно отозвать обратно. Со временем они действительно могут начать размножаться бесконтрольно и с жуткой скоростью, и тогда возникнет реальная опасность захвата окружающей среды и уничтожения жизни на Земле.

Лично я считаю, что до создания репликатора пройдет еще немало десятков, а то и сотен лет, так что беспокоиться о серой слизи пока рано. Технология эта пока только делает первые шаги. А по мере ее развития будет достаточно времени для разработки средств защиты от бешеных наноботов. К примеру, можно придумать такую систему страховки, что при нажатии тревожной кнопки все выпущенные наноботы просто «выключатся». Или можно изобрести «ботов-убийц», единственным назначением которых будет розыск и уничтожение вышедших из-под контроля наноботов.

Еще один способ справиться с этой проблемой — поучиться у природы, у которой опыт миллиардов лет эволюции. Наш мир

просто кишит самовоспроизводящимися молекулярными формами жизни, известными как вирусы и бактерии, способными бесконтрольно размножаться и мутировать. Однако человеческое тело создало и собственных «наноботов» — антитела и белые кровяные тельца (лейкоциты), которые разыскивают и уничтожают чуждые формы жизни. Система, разумеется, не совершенна, но может все же служить примером решения проблемы взбесившихся наноботов.

Социальные последствия репликаторов

В научно-популярной передаче канала BBC/Discovery, которую я однажды вел, Джоэл Гарро (Joel Garreau), автор книги «Радикальная эволюция», сказал: «Если самосборка когда-нибудь станет возможной, это будет один из величайших моментов в истории. Это будет означать, что мы действительно говорим о резких переменах в мире, о его превращении во что-то такое, чего мы прежде не могли даже вообразить».

Существует известная поговорка: будь осторожен в своих желаниях, они могут сбыться. Молекулярный сборщик, или репликатор, — это священный грааль нанотехнологий, и все исследователи в этой области мечтают его создать. Но если такой прибор действительно будет изобретен, он, вполне возможно, потрясет человеческое общество до самого основания. Если разобраться, все философии и социальные системы в конечном итоге основаны на дефиците и бедности. На протяжении всей истории человечества именно эта тема была в обществе доминирующей, именно она сформировала нашу культуру, философию и религию. В некоторых религиях достаток рассматривается как божественное вознаграждение, а бедность — как справедливое наказание. В основе же буддизма лежит универсальная природа страдания и то, как человек с этим страданием справляется. В христианстве в Новом Завете

НАНОТЕХНОЛОГИИ

те сказано: «Легче верблюду пройти сквозь игольное ушко, чем богатому войти в Царствие Небесное».

Кроме того, распределение богатства определяет и структуру общества. Феодализм основан на богатстве немногих аристократов в противовес бедности крестьянства. В основе капитализма лежит идея о том, что энергичные, продуктивные люди вознаграждаются за свои труды тем, что основывают компании и богатеют. Но если ленивые и непродуктивные люди смогут получить все что угодно почти даром, просто нажав на кнопку, то капитализм перестанет работать. Репликатор разрушит пирамиду, перевернет человеческие отношения с ног на голову. Если исчезнет разница между имущими и неимущими, вместе с ней исчезнут и представления о статусе и политической силе.

Этот парадокс исследовали создатели фильма «Звездный путь: второе поколение» в одной из серий, где астронавты находят плавающую в открытом космосе капсулу из XX в. В капсуле находятся замороженные тела людей, которые страдали от неизлечимых болезней этого примитивного времени и надеялись на исцеление в будущем. Врачи «Энтерпрайза» быстро излечивают всех этих людей и оживляют их. Счастливчики удивлены тем, что их отчаянная попытка принесла успех, но среди них оказывается и один успешный бизнесмен. Первым делом он задает главный вопрос: «Какой нынче век?» Выяснив, что теперь он живет в XXIV в., он быстро понимает, что его прежние инвестиции должны были за это время принести громадную прибыль. Он тотчас же требует связи со своим банкиром на Земле. Но экипаж «Энтерпрайза» в недоумении. Деньги? Вклады? Все это давно не существует. В XXIV в. достаточно попросить — и получишь нужную тебе вещь.

Все это заставляет вспомнить о поисках идеального общественного устройства, или утопии; слово это, давно ставшее нарицательным, первым использовал Томас Мор в своем романе «Утопия», написанном в 1516 г. Видя вокруг ужасные страдания

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

и нищету, Мор представил себе идеальное общество и поместил его на выдуманном острове в Атлантическом океане. В XIX в. в Европе существовало множество общественных движений, занимавшихся поисками различных форм утопии; многие из них нашли выход в эмиграции в США, где и сегодня заметны следы подобных общин.

С одной стороны, репликатор мог бы создать для нас ту самую утопию, которую вообразили мечтатели XIX в. Все эксперименты в этом направлении потерпели неудачу из-за материальной нужды, которая порождает неравенство, затем конфликты и в конце концов крах. Но если репликатор решит материальные проблемы людей, то и утопия может оказаться не за горами. Расцветут искусство, музыка и поэзия, у человека появится свободное время на самые заветные мечты.

С другой стороны, без бедности и денег как мотивирующих факторов все это может привести к жизни без цели, к потаканию собственным желаниям, даже самым низменным. Вполне возможно, что общество дегенерирует и опустится. Лишь крохотная горстка самых артистических натур будет еще стремиться к чему-то, писать стихи или музыку. Остальные, по утверждению критиков, превратятся в никчемных лодырей и лоботрясов.

Сомнению подвергаются даже определения, которые использовали творцы утопий. Вспомним, к примеру, мантры социализма и коммунизма. Вот основной принцип социализма: «От каждого по способностям, каждому по труду». А вот основной принцип коммунизма, высшей стадии социализма: «От каждого по способностям, каждому по потребностям».

Но если появляется репликатор, от этих лозунгов остается лишь одно: «Каждому по желаниям».

Правда, существует и третий взгляд на проблему. Согласно Принципу пещерного человека, фундаментальная основа личности человека за последние 100 000 лет практически не изменилась. Тогда, в далеком прошлом, не существовало понятия «работа». Антропологи говорят, что примитивное общество —

НАНОТЕХНОЛОГИИ

это всегда в значительной степени коммуна, члены которой делят радости и трудности поровну. Ритм жизни в древности определялся не работой и не зарплатой, поскольку ни того ни другого не было.

И все же древний человек не превращался в лентяя и бездельника, и тому есть несколько причин. Во-первых, лентяй умер бы от голода. Тех, кто не выполнял свою часть работы, просто изгоняли из племени, и они вскоре погибали. Во-вторых, люди гордились делом рук своих и даже находили в работе смысл жизни. В-третьих, существовало сильнейшее социальное давление, заставлявшее человека становиться и оставаться продуктивным членом общества. Такой человек мог вступить в брак и передать свои гены потомкам, тогда как гены лентяев и бездельников, как правило, умирали вместе с ними.

Итак, есть ли причины, по которым люди будут вести продуктивную жизнь даже после изобретения репликатора, который сможет дать каждому все желаемое? С одной стороны — и это, наверное, главное, — репликатор гарантирует, что никто на Земле не будет голодать. Но с другой стороны, люди в большинстве своем, скорее всего, будут продолжать трудиться, потому что гордятся своими умениями и видят в работе смысл. А вот третью причину, социальное давление, сложнее поддерживать, не нарушая ничьей личной свободы. Вместо социального давления, вероятно, потребуются серьезный сдвиг в системе воспитания и образования детей. Чтобы репликатор не использовался во зло, необходимо будет изменить отношение людей к работе.

К счастью, прогресс, скорее всего, будет очень медленным, да и репликатор появится вряд ли раньше чем через столетие... У общества будет достаточно времени, чтобы обсудить со всех сторон преимущества и недостатки этой технологии и, приспособившись к новой реальности, не допустить распада.

Можно не сомневаться, что первые репликаторы будут дорогим удовольствием. Как говорит уже знакомый нам

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

специалист по робототехнике из MIT Родни Брукс, «нанотехнология расцветет, скорее всего, примерно как расцвела фотолитография, — в очень дорогостоящих контролируемых условиях, а не как общедоступная рыночная технология». Так что проблема бесплатности и доступности любых благ не будет такой уж проблемой. Учитывая сложность подобных машин, с момента их изобретения до выхода на реальный рынок и падения цен пройдет, наверное, не одно десятилетие.

У меня однажды состоялся интересный разговор с Жамэ Кассио (Jamais Cascio), известным футуристом, давно пытающимся разглядеть контуры будущего. Во-первых, он сказал мне, что сомневается в теории сингулярности, упомянутой в главе 2; человеческая природа и социальная динамика слишком сложны, запутанны и непредсказуемы, чтобы укладываться в простую аккуратную теорию. Однако он признал, что развитие нанотехнологий со временем может породить общество, где всего будет в избытке, особенно если появятся репликаторы и полноценные роботы. Поэтому я спросил: «Как поведет себя общество, если все блага станут почти бесплатными, а необходимость работать исчезнет?»

Он сказал, что произойдет две вещи. Во-первых, богатое общество обеспечит каждому, даже тем, кто не захочет работать, достойный минимальный доход. Так что некоторая доля населения, вероятно, превратится в пресловутых лентяев и бездельников. Кассио предвидит появление некоей страховочной сетки для общества — явление, возможно, не слишком желательное, но неизбежное, особенно если все материальные потребности человека будут обеспечивать роботы и репликаторы. Во-вторых, он считает, что все это компенсируется невероятным расцветом предпринимательского духа, свободного теперь от страха перед разорением и нищетой. Деятельные люди будут проявлять инициативу и брать на себя дополнительные риски, создавая новые отрасли и новые возможности для других. По мнению футуриста, творческое начало, освобожденное от страха перед

НАНОТЕХНОЛОГИИ

банкротством, поднимет общество на новую высоту и породит новый ренессанс.

Я прекрасно знаю, что в моей собственной области, в физике, большинство ученых занимается наукой не из-за денег, а ради чистого удовольствия от новых открытий и изобретений. Мы нередко отказываемся от более прибыльной работы в других областях, потому что хотим гоняться за мечтой, а не за долларом. Знакомые мне люди искусства и интеллектуалы думают так же — их цель не увеличить, насколько возможно, свой банковский счет, а заниматься творчеством и облагораживать человеческий дух.

Лично я считаю, что, если к 2100 г. общество разбогатеет настолько, что все люди окажутся в обстановке материального изобилия, общество может отреагировать точно так же. Какая-то доля населения образует постоянный класс людей, которые просто откажутся работать. Другие, освободившись от сдерживающего влияния бедности, займутся творческой деятельностью, наукой или искусством. Для них счастье творчества и созидания окажется важнее материальных благ. Большинство же продолжит работать и приносить пользу просто потому, что это заложено у нас в генах. Это тоже Принцип пещерного человека.

Но существует одна проблема, которую не сможет решить даже репликатор, и это проблема энергии. Чудесные технологии будущего будут нуждаться в громадном количестве энергии. Откуда же будет браться эта энергия?

5. БУДУЩЕЕ ЭНЕРГИИ

ЭНЕРГИЯ ЗВЕЗД

Каменный век кончился не потому, что кончился камень. И нефтяной век кончится задолго до того, как в мире кончится нефть.

Джеймс Кэнтон

В моем сознании [ядерный синтез] переключается с изначальным даром огня в туманах доисторического прошлого.

Бен Бова

Богам источником энергии служили звезды. Когда Аполлон проезжал по небу в колеснице, запряженной четверкой огнедышащих коней, небеса и землю заливала бесконечная мощь Солнца. Соперничать с Аполлоном в могуществе способен был только сам Зевс. Однажды Семела, одна из многочисленных смертных возлюбленных Зевса, умолила Отца богов показаться ей в истинном своем виде. Зевс неохотно согласился. Слепящая вспышка космической энергии испепелила несчастную женщину.

Уже в этом столетии человек обуздает энергию звезд — источник богов. В ближайшей перспективе это означает начало эры солнечной и водородной энергии в противовес энергии сжигания ископаемого топлива. Но в долгосрочной перспективе это означает обуздание энергии ядерного синтеза и получение солнечной энергии с космических электростанций. Дальнейшее развитие физики может привести к началу эры магнетизма, когда автомобили, поезда и даже скейтборды будут парить в воздухе на магнитной подушке. При этом потребление энергии кардинально уменьшится, потому что чуть ли не вся энергия при движении автомобиля и поезда уходит на преодоление силы трения.

Конец нефти?

Сегодня человеческая цивилизация полностью зависит от ископаемого топлива в виде нефти, природного газа и угля. В целом мир потребляет около 14 трлн ватт, из которых 33% приходится на нефть, 25 — на уголь, 20 — на газ, 7 — на атомную энергию, 15 — на биотопливо и гидроэнергию и лишь жалкие 0,5% — на солнечную энергию и другие возобновляемые ее виды.

Без ископаемого топлива маховик мировой экономики остановился бы с жутким скрежетом.

Кинг Хабберт (M. King Hubbert), инженер компании Shell Oil, ясно видел конец нефтяной эры. В 1956 г. Хабберт прочел в Американском институте нефти лекцию на эту тему и сделал тревожное предсказание, которое все его коллеги тогда дружно высмеяли. Хабберт указал, что запасы нефти в США истощаются очень быстро и уже скоро 50% ее будет извлечено из-под земли, после чего начнется эра необратимого упадка. Произойдет это между 1965 и 1971 гг. Хабберт считал, что зависимость полного количества нефти в США от времени выглядит как колоколо-видная кривая и что страна в тот момент находилась вблизи точки максимума. Он предсказывал, что теперь дела наверняка покатятся под гору и что такой поворот событий неизбежен. Это означало, что добывать нефть будет все труднее и труднее и в какой-то момент произойдет немыслимое: США начнут импортировать нефть.

Предсказание Хабберта показалось многим дерзким, даже неуместным и безответственным, поскольку США в тот момент по-прежнему выкачивали нефть в огромных количествах в Техасе и других местах. Но теперь нефтяники уже не смеются. Предсказание Хабберта попало в точку. К 1970 г. производство нефти в США достигло 10,2 млн баррелей в сутки, а затем начало падать. Уровень добычи нефти так никогда и не восстановился. Сегодня США импортируют 59% нефти. Более того, если сравнить оценочный график Хабберта, составленный несколько

БУДУЩЕЕ ЭНЕРГИИ

десятилетий назад, с реальным графиком добычи нефти в США до 2005 г., две кривые практически совпадают.

Сегодня перед нефтяниками стоит другой фундаментальный вопрос: достигли ли мы максимума добычи мировых нефтяных запасов? Тогда, в 1956 г., Хабберт предсказал также, что мировое производство нефти достигнет пика примерно через пятьдесят лет. Возможно, он был прав и в этом. Не исключено, что наши дети, оглядываясь на сегодняшний день, будут рассматривать ископаемое топливо, как мы сегодня рассматриваем китовый жир — как непонятный пережиток далекого прошлого.

Мне не раз приходилось читать лекции в Саудовской Аравии и по всему Ближнему Востоку, говорить о науке, энергии и будущем. С одной стороны, в Саудовской Аравии 267 млрд баррелей нефти, так что эта страна, можно сказать, плавает в гигантском подземном озере сырой нефти. Я ездил по Саудовской Аравии и странам Персидского залива и всюду наблюдал, как энергию тратят в невообразимых, громадных масштабах. Я видел фонтаны нефти, бьющие посреди пустыни и образующие искусственные нефтяные озера. В Дубае, несмотря на жуткую жару снаружи, есть даже крытый горнолыжный склон с тысячами тонн искусственного снега.

Но сейчас министры нефтяной отрасли встревожены. За пустой риторикой о «разведанных нефтяных запасах», призванной уверить нас в том, что на ближайшие десятилетия нефти хватит с избытком, проглядывает понимание того, что многие нефтяные цифры — всего лишь обманчивая дымовая завеса. Фраза «разведанные запасы нефти» звучит уверенно и успокаивающе, но лишь до тех пор, пока не поймешь: нередко эти самые запасы представляют собой всего лишь плод политического давления и творческого воображения местного министра.

Разговаривая со специалистами-энергетиками, я видел, что постепенно среди экспертов формируется единое мнение: мы сейчас либо на вершине Хаббертовой кривой мирового производства нефти, либо — в лучшем случае — в десятке лет

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

от роковой точки. Это означает, что в самом ближайшем будущем человечество вступит в эпоху необратимого упадка.

Конечно, полностью нефть не кончится никогда. Геологи все время находят новые месторождения. Но стоимость добычи и очистки этой нефти непрерывно растет и довольно скоро достигнет космических высот. К примеру, в Канаде имеются громадные залежи нефтеносных песков, нефти в них хватило бы всему миру не на один десяток лет — но добывать и очищать эту нефть невыгодно. Запасов угля в США, вероятно, хватило бы лет на 300, но использование угля законодательно ограничено, а стоимость очистки его от твердых и газообразных загрязняющих примесей весьма обременительна.

Помимо всего прочего нефть продолжают находить в политически нестабильных регионах мира, отчего их нестабильность только растет. Цены на нефть на протяжении десятилетий ведут себя как машинки на американских горках: в 2008 г. они достигли пика на уровне 140 долларов за баррель (и более 4 долларов за галлон бензина на автозаправке), затем упали из-за мирового экономического кризиса. Здесь, конечно, присутствуют и дикие колебания, связанные с политическими передрягами, спекуляцией, слухами и т. п., но ясно одно: средняя цена нефти в долгосрочной перспективе будет расти.

Рост цен на нефть означает серьезные последствия для всей мировой экономики. Вообще, стремительный подъем современной цивилизации в XX в. связан с двумя вещами: это дешевая нефть и закон Мура. Рост цен на энергоносители означает серьезное давление одновременно на производство продовольствия и защиту окружающей среды. Как сказал романист Джерри Пурнель (Jerry Pournelle), «еда и загрязнение среды — не первичные проблемы; это энергетические проблемы. При достаточном количестве энергии мы можем произвести столько пищи, сколько захотим, если нужно, интенсивными методами вроде гидропоники и теплиц. То же с загрязнением: если энергии достаточно, загрязняющие вещества можно превращать в вещи,

БУДУЩЕЕ ЭНЕРГИИ

с которыми можно бороться, а при необходимости разлагать на составляющие».

В настоящий момент перед нами стоит и другая проблема: рост среднего класса в Китае и Индии. Это один из величайших демографических сдвигов послевоенного мира, порождающий сильнейшее давление на нефтяные цены и цены на потребительские товары. Видя в голливудских фильмах гамбургеры из McDonald's и семейные гаражи на две машины, новые представители среднего класса тоже хотят попасть в американскую мечту и вести жизнь, полную бесцельного потребления энергии.

БЛИЖАЙШЕЕ БУДУЩЕЕ (с настоящего момента до 2030 г.)

Экономика на солнечной/водородной энергии

Создается впечатление, что история повторяется. В начале XX в. Генри Форд и Томас Эдисон, два давних друга, заключили пари о том, какая форма энергии будет главенствовать в будущем. Генри Форд поставил на нефть, которая заменит уголь, и на двигатели внутреннего сгорания, которые придут на смену паровым двигателям. Томас Эдисон поставил на электромобиль. Надо сказать, что исход этого судьбоносного пари сильно повлияет на ход мировой истории. Некоторое время казалось, что победит Эдисон, поскольку добывать китовый жир было чрезвычайно трудно. Но вскоре открытие запасов дешевой нефти на Ближнем Востоке и в других местах вывело в лидеры Форда. После этого мир изменился навсегда. Электрические аккумуляторы были не в состоянии угнаться за бензином, имевшим феноменальный успех. (Даже сегодня бензин дает примерно в сорок раз больше энергии, чем электрическая аккумуляторная батарея той же массы.)

Но сейчас маятник приостановился и собирается вновь качнуться в обратную сторону. Может быть, Эдисон еще выйдет победителем в споре столетней давности.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Вопрос, которым задаются в правительственных и промышленных кругах, звучит просто: что заменит нефть? Ясного ответа на него пока нет. В ближайшем будущем просто нет достойной замены ископаемому топливу, и какое-то время, возможно довольно долго, разные источники энергии будут существовать параллельно, на равных.

Но наиболее перспективным на данный момент кандидатом представляется солнечная и водородная энергетика, т. е. энергия, получаемая на базе возобновляемых технологий. Это собственно солнечная энергия, энергия ветра, энергия гидроэлектростанций и водорода.

В настоящее время электричество, получаемое с солнечных батарей, стоит в несколько раз дороже угольного. Но технический прогресс обеспечивает стабильное падение цен на электричество из возобновляемых источников, а цены на ископаемое топливо столь же стабильно растут. По оценкам ученых, через 10–15 лет две кривые пересекутся. Остальное сделают рыночные механизмы.

Энергия ветра

В ближайшей перспективе лучше всего выглядят такие возобновляемые источники, как энергия ветра. Мировые ветрогенерирующие мощности выросли с 17 ГВт в 2000 г. до 121 ГВт в 2008 г.* Энергия ветра, которую когда-то практически не брали в расчет, приобретает все большее значение. Технический прогресс в области производства ветряных турбин увеличил эффективность и производительность ветряных электростанций, и теперь ветроэнергетика — один из наиболее быстро растущих секторов энергетического рынка.

Сегодняшние ветроэлектростанции мало напоминают ветряные мельницы, крутившие колеса мельниц и заводиков в конце XIX в. Один ветрогенератор может давать 5 МВт

* И до 194 ГВт в 2010 г. — *Прим. пер.*

БУДУЩЕЕ ЭНЕРГИИ

электроэнергии — достаточно для небольшой деревушки. При этом он безопасен и не загрязняет окружающую среду. Ветряная турбина снабжена огромными обтекаемыми лопастями длиной около 30 м, вращающимися почти без трения. Ветряные турбины производят электричество так же, как турбины гидроэлектростанций или, к примеру, велосипедные генераторы. Ветер вращает лопасти, а вместе с ними и магнит внутри катушки. Вращающееся магнитное поле гонит электроны по виткам катушки, создавая в электросети ток. Большая ветроэлектростанция, включающая 100 таких генераторов, может производить 500 МВт, что вполне сравнимо с 1000 МВт, производимых угольной станцией или одним блоком атомной станции.

Несколько последних десятилетий лидерство в развитии ветроэнергетических технологий принадлежало Европе. Однако не так давно США обогнали в этом Европу. В 2009 г. в США было лишь 28 ГВт установленной мощности ветрогенераторов, но в одном Техасе их имеется на 8 ГВт и строятся мощности еще на 1 ГВт, а планируется построить еще больше. Если все пойдет по плану, Техас будет получать от ветра 50 ГВт электроэнергии — более чем достаточно для штата с населением 24 млн человек.

Но Китай скоро превзойдет США в этой области. По программе «Ветроэнергетическая база» там будет построено шесть ветроэлектростанций суммарной мощностью 127 ГВт.

Несмотря на то что энергия ветра выглядит все более привлекательно и в ближайшее время производство ветряного электричества, несомненно, будет расти, обеспечить таким образом энергией все человечество невозможно. В лучшем случае энергия ветра займет свое ограниченное место в сложной и неоднородной мировой энергетической системе. У ветроэнергетики есть несколько серьезных недостатков. Энергия в ней может вырабатываться лишь время от времени, когда дует ветер, и лишь в некоторых особенно ветреных регионах мира. Кроме того, из-за потерь при передаче электроэнергии ветроэлектростанции приходится размещать вблизи крупных городов, что еще больше ограничивает их возможности.

А вот и солнце!

Если разобраться, вся энергия на Земле исходит от Солнца. Даже нефть и уголь представляют собой в некотором смысле концентрированный солнечный свет, энергию, поглощенную миллионы лет назад растениями и животными. Вследствие этого количество энергии, содержащееся в литре бензина, гораздо больше, чем мы можем запасти в электрическом аккумуляторе. С этой фундаментальной проблемой сталкивался еще Эдисон в прошлом веке, и она же стоит перед человечеством сегодня.

Солнечные батареи напрямую преобразуют солнечное излучение в электричество. (В основе этого процесса лежит явление фотоэффекта, которое еще в 1905 г. объяснил Эйнштейн. Когда частица света — фотон — падает на металл, она выбивает из атомной решетки электрон, порождая таким образом электрический ток.)

Однако солнечные батареи неэффективны. Даже теперь, после десятков лет непрерывных усилий ученых и инженеров, их коэффициент полезного действия завис на отметке около 15%. В настоящее время исследования идут в двух направлениях. Первое — увеличение эффективности солнечных батарей, что является чрезвычайно сложной технической задачей. Второе — уменьшение стоимости их производства и установки, а также строительства солнечных электростанций.

К примеру, покрыв всю территорию штата Аризона фотоэлектрическими батареями, можно было бы полностью удовлетворить потребность США в электричестве. Понятно, что это непрактично. Тем не менее крупные участки земли на территории пустыни Сахара неожиданно подскочили в цене и стали пользоваться спросом; инвесторы уже начали строительство крупных солнечных электростанций в этой пустыне для обслуживания европейских потребителей.

В крупных городах можно было бы снизить стоимость солнечной энергии, покрыв стены и крыши домов солнечными батареями. У такого варианта есть свои преимущества, в том числе

БУДУЩЕЕ ЭНЕРГИИ

то, что при этом исключаются потери при передаче энергии от станции к потребителю. Проблема в цене: несложный расчет показывает, что для окупаемости подобных предприятий нужно будет экономить буквально на всем*.

Следует признать, что пока солнечная энергия не оправдывает возлагаемых на нее надежд. Тем не менее нестабильность цен на нефть заставляет прилагать дополнительные усилия для вывода этого вида возобновляемой энергии на рынок. Возможно, тенденция вскоре изменится. Каждые несколько месяцев мы слышим о новых достижениях и рекордах. Производство солнечной электроэнергии ежегодно растет на 45%, а за два года почти удваивается. Солнечные батареи по всему миру в 2009 г. имели мощность 15 ГВт, и только за 2008 г. эта величина выросла на 5,6 ГВт.

В 2008 г. компания Florida Power & Light объявила о самом крупном в США проекте солнечной энергетики. Заключен контракт с корпорацией SunPower, которая планирует производить 25 МВт энергии. (На сегодняшний день рекорд в США принадлежит военно-воздушной базе Неллис в Неваде, чья солнечная станция производит 15 МВт электроэнергии.)

В 2009 г. корпорация BrightSource Energy со штаб-квартирой в Окленде, штат Калифорния, объявила о планах побить этот рекорд и построить в Калифорнии, Неваде и Аризоне 14 солнечных электростанций общей производительностью 2,6 ГВт.

Среди проектов BrightSource Energy — солнечная электростанция Айвенпа в Южной Калифорнии, включающая три солнечно-термальных блока, которые вместе будут производить 440 МВт электроэнергии. Совместно с Pacific Gas and Electric BrightSource планирует построить станцию на 1,3 ГВт в пустыне Мохаве.

В 2009 г. компания First Solar, крупнейший мировой производитель солнечных батарей, объявила, что будет строить

* К сказанному следует добавить, что производство самих фотоэлементов представляет собой достаточно затратный и «грязный» процесс. — *Прим. пер.*

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

самую большую в мире солнечную электростанцию к северу от Великой Китайской стены. Десятилетний контракт, детали которого все еще находятся в стадии согласования, предусматривает строительство громадного солнечного комплекса мощностью 2 ГВт, состоящего из 27 тысяч тонкопленочных панелей. По мощности такая станция соответствует двум угольным энергоблокам и производит достаточно энергии для 3 млн семей. Станция займет 65 км² во Внутренней Монголии и станет частью еще более крупного энергетического комплекса, совокупная проектная мощность которого составляет 12 ГВт. Китайские чиновники утверждают, что солнечная электростанция станет лишь частью этого гигантского предприятия по добыче энергии из различных возобновляемых источников (ветра, солнца, биомассы и гидроэнергии).

Пока неясно, смогут ли эти амбициозные проекты пройти экологическую экспертизу и решить проблемы высокой стоимости энергии, но главное — то, что в солнечной энергетике все же происходит медленный поворот, и крупные энергетические компании начинают всерьез рассматривать солнечную энергию как альтернативу электростанциям на ископаемом топливе.

Электромобиль

Не секрет, что примерно половину нефти в мире потребляют автомобили, поезда и самолеты, поэтому реформа этого сектора экономики вызывает громадный интерес. В настоящее время идет настоящая гонка за будущее лидерство на автомобильном рынке, после того как страны постепенно перейдут от машин на ископаемом топливе к электромобилям. Это исторический переход, и первая его стадия — гибридный автомобиль, уже появившийся на рынке (в нем работает и бензин, и электричество из аккумулятора). В этом автомобиле для решения старой проблемы с аккумуляторами используется небольшой двигатель внутреннего сгорания: дело в том, что создать аккумулятор,

БУДУЩЕЕ ЭНЕРГИИ

который мог бы обеспечить движение на длинных дистанциях, очень трудно, к тому же электрический двигатель не способен быстро разогнать машину.

Но гибрид — это только первый шаг. К примеру, на модульном гибридном автомобиле стоит достаточно мощная аккумуляторная батарея, чтобы можно было проехать около 80 км, не переходя на второй, бензиновый двигатель. А если учесть, что большинство людей совершает повседневные поездки в пределах этого расстояния, то получится, что такой автомобиль будет ездить только на электричестве.

Среди серьезных участников гонки гибридов — Chevy Volt компании General Motors. Эта машина способна проехать 65 км только на литий-ионном аккумуляторе и еще 480 — на маленьком бензиновом двигателе.

А компания Tesla Motors из Кремниевой долины единственная в Северной Америке выпустила на рынок серийный чисто электрический автомобиль Tesla Roadster. Это обтекаемая спортивная машинка способна состязаться на дороге с любым бензиновым автомобилем и на деле опровергает устоявшееся представление о том, что двигатели на литий-ионных аккумуляторах никогда не сравнятся с бензиновыми.

Мне довелось посидеть за рулем двухместной Tesla, принадлежащей Джону Хендриксу (John Hendricks), основателю компании Discovery Communications, учредителя канала Discovery. Я уселся на водительское место, и мистер Хендрикс предложил мне испытать машину на полном газу. Я воспользовался советом и вжал педаль акселератора в пол. Tesla рванула вперед. Разгон до 96 км/ч всего за 3,9 с заставил наши тела вжаться в кресла. Одно дело — слушать похвалу чисто электрической машине из уст ее создателей, и совсем другое — нажать на акселератор и самому ощутить ее мощь.

Успешные продажи Tesla поставили основных автопроизводителей в положение догоняющих, после того как они десятилетиями игнорировали электромобили. Роберт Лутц (Robert Lutz),

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

будучи вице-президентом General Motors, сказал: «Все наши технические гении твердят, что до литий-ионной технологии еще десять лет, и Toyota с нами согласна, и вдруг — бац! — на рынок выходит Tesla. И я сказал: “Как так, почему эта крошечная калифорнийская компания-высочка под управлением парней, ничего не понимающих в автомобильном бизнесе, может делать то, что мы не можем?”»

Гонку за то, чтобы первыми представить обычному потребителю чисто электрический автомобиль, возглавила компания Nissan Motors. Ее электромобиль называется Nissan Leaf, он проходит на одной зарядке расстояние до 160 км, разгоняется до 140 км/ч и работает только на электричестве.

После чисто электрического автомобиля центральной фигурой на выставках и в салонах станет автомобиль на топливных элементах; иногда его даже называют машиной будущего. В июне 2008 г. Honda Motor Company объявила о выпуске первого коммерческого автомобиля на топливных элементах — FCX Clarity. Эта машина может пройти на одной заправке около 400 км с максимальной скоростью 160 км/ч и снабжена всеми удобствами, обычными для четырехдверного седана. Ей не нужен ни бензин, ни электрический заряд; топливом ей служит только водород. Однако инфраструктуры для водородных машин пока не существует, поэтому приобрести и использовать этот автомобиль пока можно только в Южной Калифорнии. Honda рекламирует и спортивную версию машины на топливных элементах под названием FC Sport.

Затем в 2009 г. компания GM после процедуры банкротства и полной смены руководящего состава объявила о том, что ее автомобиль на топливных элементах Chevy Equinox прошел на испытаниях отметку в миллион миль. За последние 25 месяцев 5000 человек испытывали 100 экземпляров этого автомобиля. Детройт, которому никак не удается угнаться за Японией в создании мини-автомобилей и гибридов, пытается создать задел на будущее.

БУДУЩЕЕ ЭНЕРГИИ

На первый взгляд автомобиль на топливных элементах идеален. В топливных элементах, которые обеспечивают его энергией, кислород соединяется с водородом с выделением электроэнергии и воды в качестве побочного продукта. Он вообще не загрязняет окружающую среду. Вид выхлопной трубы такого автомобиля производит фантастическое впечатление. Вместо ядовитого дыма из нее вылетают лишь капельки воды без цвета и запаха.

«Закрываешь ладонью выхлопную трубу, и на ней остается только вода. Так классно!» — говорит Майк Швабл (Mike Schwabl), 10 дней ездивший на Equinox в порядке испытаний.

Вообще, топливные элементы — вовсе не новое изобретение. Базовый принцип их работы был продемонстрирован еще в 1839 г., и NASA десятки лет использует топливные элементы для обеспечения космических кораблей энергией*. Новое здесь — лишь желание и решимость автопроизводителей увеличивать производство таких машин и снижать цены.

У машины на топливных элементах есть и другая проблема, которая не давала спокойно жить еще Генри Форду при выпуске на рынок знаменитой модели Ford T. Критики утверждали, что бензин опасен, что люди будут погибать в ужасных авариях и живо сгорать при любом столкновении. Да и бензиновые колонки придется строить чуть ли не на каждом перекрестке. Причем, если разобраться, критики были правы по всем пунктам. Люди действительно каждый год гибнут в ужасных автокатастрофах тысячами, и автозаправки видны повсюду, нравится нам это или нет. Но автомобили настолько удобны и практичны, что человечество игнорирует эти бесспорные факты.

Теперь те же возражения звучат против машин на топливных элементах. Водородное топливо капризно и взрывоопасно, а водородные заправки придется строить в каждом квартале. Причем, скорее всего, критики опять окажутся пра-

* Топливные элементы, или электрохимические генераторы, были впервые установлены на кораблях «Джемини» в 1965 г., а после этого использовались на «Аполлонах» и на орбитальной ступени шаттла. — *Прим. пер.*

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

вы. Но как только будет создана водородная инфраструктура, люди увидят, как удобны не загрязняющие окружающую среду машины на топливных элементах, и готовы будут закрыть глаза на некоторые их недостатки. Сегодня на все Соединенные Штаты наберется всего около 70 водородных заправочных станций, а поскольку на одной заправке такая машина проезжает около 270 километров, водитель должен внимательно следить за указателем уровня топлива. Но постепенно ситуация изменится, особенно если цена машин на топливных элементах начнет падать с ростом массового производства и развитием технологий.

Однако главная проблема электромобилей заключается в том, что электричество не возникает из ниоткуда. Аккумуляторную батарею необходимо заряжать, и энергию для этого обычно получают с угольных электростанций. Так что, хотя сам электромобиль и не загрязняет окружающую среду, настоящим источником энергии для него служит все то же ископаемое топливо.

Так и электромобиль на топливных элементах. Водород — вовсе не источник энергии, а лишь ее переносчик. Чтобы заправить машину водородом, его надо сначала получить. К примеру, чтобы разделить воду на кислород и водород, нужно затратить немало электричества. Электромобили на аккумуляторах и топливных элементах сами не загрязняют среду и потому позволяют нам надеяться на бездымное будущее и чистый воздух в городах, но основную проблему они не снимают: энергия, потребляемая такими машинами, производится преимущественно за счет сжигания угля. Первый закон термодинамики обойти невозможно: суммарное количество вещества и энергии постоянно, его нельзя уничтожить или создать на пустом месте. Из ничего получить что-то невозможно.

Это означает, что при переходе от бензина к электричеству нам необходимо заменить угольные электростанции совершенно новым источником энергии.

Деление атомного ядра

Одна из возможностей создавать энергию, а не просто передавать ее из одного места в другое заключается в расщеплении атома урана. Преимущество этого метода в том, что ядерная энергетика не производит парниковых газов, как угольная и нефтяная, но технические и политические проблемы привели к тому, что «руки» атомной энергетике связаны уже не один десяток лет. Строительство последней атомной станции в США началось в 1977 г., незадолго до роковой аварии на Тримайл-Айленд, положившей в 1979 г. конец развитию коммерческой атомной энергетике. Затем Чернобыльская катастрофа 1986 г. на целое поколение определила ее печальную судьбу. В США и в большей части стран Европы все атомные проекты были попросту закрыты, а во Франции, Японии и России чуть теплились и держались только на правительственных субсидиях*.

При расщеплении урана возникает огромное количество атомных отходов, сохраняющих радиоактивность от тысяч до десятков миллионов лет. Стандартный 1000-мегаваттный реактор всего за год производит около 30 тонн высокоактивных атомных отходов. Они настолько радиоактивны, что буквально светятся в темноте, и хранить их приходится в специальных бассейнах выдержки. В США около 100 коммерческих реакторов; соответственно, ежегодно на них производятся тысячи тонн высокоактивных ядерных отходов.

Ядерные отходы представляют собой проблему по двум причинам. Во-первых, они остаются горячими даже после остановки реактора. Если в результате аварии вода в системе охлаждения отключится, как на Тримайл-Айленд, активная зона может расплавиться**. Расплавленный металл, соприкоснувшись

* В этот же период активно развивали ядерную энергетику Индия и Китай. — *Прим. пер.*

** Именно это произошло в марте 2011 г. на трех блоках японской АЭС «Фукусима-1», оставшихся без охлаждения в результате разрушений от последовательного воздействия 9-балльного землетрясения и цунами. — *Прим. пер.*

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

с водой, может вызвать взрывное парообразование. Реактор при этом взорвется, выбросив в воздух тонны высокорadioактивных обломков. В случае самой серьезной ядерной аварии 9-го уровня* правительству, возможно, придется эвакуировать миллионы людей из 16–80-километровой зоны вокруг реактора. Между тем атомная станция Индиан-Пойнт расположена меньше чем в 40 километрах от Нью-Йорка. Согласно правительственным исследованиям, авария на станции Индиан-Пойнт могла бы привести к потерям в сотни миллиардов долларов только в виде компенсаций за утраченную собственность. Аварии на Тримайл-Айленд удалось остановить за несколько минут до серьезной катастрофы, от которой пострадал бы весь северо-восток страны. Работникам станции удалось вновь подать воду в систему охлаждения активной зоны менее чем за полчаса до того, как температура там достигла точки плавления диоксида урана.

В Чернобыле под Киевом ситуация развивалась гораздо хуже. Работники станции вручную отключили механизм безопасности (управляющие стержни). Произошел небольшой скачок мощности, который вывел реактор из-под контроля. Когда холодная вода внезапно попала на расплавленный металл, началось взрывное парообразование. Взрыв снес всю верхушку реактора и выбросил в воздух значительную часть активной зоны. Многие работники, посланные на станцию для ликвидации аварии, позже умерли ужасной смертью от радиационных ожогов. Реактор горел, и Советам пришлось привлечь к его ликвидации военно-воздушные силы. Специальным образом экранированные вертолеты заливали пылающий реактор борной водой. В конце концов активную зону пришлось полностью замуровать

* Непонятно, о каких уровнях (классах) ядерных аварий рассуждает автор. Международная шкала ядерных событий INES включает три уровня происшествий (1–3), не влекущих повреждения оборудования реактора и не влияющих на жизнь за пределами площадки станции, и четыре уровня аварий (4–7), различающихся размерами последствий для станции и населения. Максимальный 7-й уровень присвоен авариям в Чернобыле и на «Фукусиме-1» (2011). Авария на Тримайл-Айленд была оценена уровнем 5. — *Прим. пер.*

БУДУЩЕЕ ЭНЕРГИИ

в бетонный саркофаг. Даже сегодня она по-прежнему нестабильна и продолжает выделять тепло и радиацию*.

Помимо проблем с расплавлением активной зоны и взрывами существует проблема хранения и переработки отходов. Куда их девать? Как ни печально, но ответа на этот вопрос по-прежнему нет, хотя с начала атомной эры прошло больше полувека. В прошлом было сделано немало дорогостоящих ошибок, связанных с попытками окончательно решить вопрос с отходами. Первоначально США и Россия просто сбрасывали отходы в океан или хоронили их в неглубоких шахтах. В 1957 г. на Урале одно хранилище отходов плутониевого производства взорвалось с катастрофическими последствиями, что потребовало массовой эвакуации жителей и вызвало радиоактивное заражение территории в 1000 км² между Свердловском и Челябинском.

США в 1970-е гг. пытались захоранивать высокоактивные ядерные отходы в Лайонсе, штат Канзас, в соляных шахтах. Однако позже выяснилось, что соляные шахты использовать нельзя, так как они пронизаны множеством отверстий, пробуренных при разведке нефти и газа. Полигон в Лайонсе пришлось закрыть, и США вновь оказались перед трудноразрешимой проблемой.

В течение следующих 25 лет США истратили 9 млрд долларов на проектирование и строительство гигантского цен-

* Причины и механизм аварии на 4-м блоке Чернобыльской АЭС описаны автором неграмотно и неверно. Авария стала следствием группы причин, которые можно разделить на проектно-конструкторские и ситуативные. Серьезными конструктивными недостатками реактора были положительные паровой и мощностной коэффициенты реактивности и специфическое устройство стержней аварийной защиты, способных на начальном этапе движения в зону вносить положительную реактивность. Ситуативные причины включали продолжительную работу реактора на половинном уровне мощности, что привело к его отравлению и потребовало выведения большей части органов управления из активной зоны, и операции, выполненные персоналом по утвержденной программе с целью проведения эксперимента на турбогенераторе в момент остановки блока. Последние не были причиной аварии и, по-видимому, мало повлияли на ее развитие. Непосредственным толчком к разгону реактора, резкому скачку мощности и взрывному парообразованию стал ввод в активную зону стержней аварийной защиты с намерением заглушить его. — *Прим. пер.*

тра по глубокому захоронению отходов Юкка-Маунтин в штате Невада — только для того, чтобы президент Барак Обама в 2009 г. закрыл проект. Геологи заявили, что на полигоне Юкка-Маунтин отходы, скорее всего, не смогут пролежать 10 000 лет*. Этому полигону не суждено открыться, а коммерческие операторы атомных станций пока остаются без постоянного хранилища для отходов их деятельности.

В настоящий момент будущее ядерной энергетики видится довольно туманным**. Представители Уолл-стрит, как обычно, не слишком хотят выкладывать по несколько миллиардов долларов за каждую новую атомную электростанцию. Но представители отрасли утверждают, что станции последнего поколения значительно безопаснее прежних. А Министерство энергетики не спешит высказывать свою позицию по этому поводу.

Ядерное оружие расплзается по миру

Но где великая мощь, там и великая опасность. В Северной Европе, к примеру, викинги поклонялись Одину, который правил Асгардом мудро и справедливо. Один главенствовал над целым легионом богов, включая и героического Тора, честь и доблесть которого любой воин ценил превыше всего. Однако среди богов был и Локи, бог хитрости и обмана, вечно сжигаемый завистью и ненавистью. Он поднаторел в обмане и плетении интриг. Считалось, что когда-нибудь Локи сговорится с великанами и выступит против остальных богов в окончательной битве Света и Тьмы, эпическом Рагнареке, после которого наступят сумерки богов.

* Как требовалось в соответствии с американским законом 1982 г., конгресс США в итоге утвердил прекращение финансирования проекта Юкка-Маунтин, однако горячие дискуссии о способе и месте захоронения ядерных отходов продолжают. — *Прим. пер.*

** Мощная авария на японской АЭС Фукусима-1 в марте 2011 г. дала новые аргументы противникам ядерной энергетики и уже привела к решению Германии отказаться от нее и демонтировать к 2022 г. имеющиеся атомные станции. Тем не менее такие страны, как Россия, Франция, Китай, Индия и Иран, по-видимому, будут продолжать строительство АЭС. — *Прим. пер.*

БУДУЩЕЕ ЭНЕРГИИ

Проблема в том, что сегодня зависть и ненависть между странами могут развязать глобальный ядерный Рагнарек. История показала, что любая страна, овладевшая промышленными ядерными технологиями, может при наличии желания и политической воли перейти к производству ядерного оружия. Опасность в том, что эти технологии проникают в первую очередь в самые нестабильные регионы мира.

Во время Второй мировой войны только величайшие державы мира обладали ресурсами, знаниями и возможностями для создания атомной бомбы. Однако благодаря внедрению новых технологий стоимость обогащения урана падает, и в будущем этот порог может резко снизиться. Это реальная опасность: более новые и дешевые технологии могут привести к тому, что атомная бомба окажется в ненадежных руках.

Ключевой момент в создании атомной бомбы — получить большое количество урановой руды и очистить ее. Очистить — значит разделить уран-238 (составляющий в природном уране 99,3%) и уран-235 (этот изотоп годится для создания атомной бомбы, но в природном уране его всего 0,7%). Эти два изотопа химически идентичны (естественно, ведь это один и тот же элемент), так что единственный способ надежно разделить их состоит в том, чтобы воспользоваться разницей в атомном весе: уран-235 примерно на 1% легче урана-238.

Во время Второй мировой войны единственным способом разделить два изотопа урана был очень трудоемкий способ газовой диффузии: уран превращали в газ (гексафторид урана), а затем прогоняли сквозь сотни километров различных трубок и мембран. В конце этого долгого путешествия более быстрые (а значит, и более легкие) молекулы, содержащие уран-235, выигрывали гонку, оставляя более тяжелые молекулы с ураном-238 позади. Газ, содержащий уран-235, извлекали из установки и повторяли весь процесс заново, до тех пор пока доля урана-235 не возросла с 0,7 до 90% (именно такая его концентрация нужна для создания бомбы). Но проталкивание

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

газа через мембраны и тонкие трубки требовало громадного количества электричества. Во время войны значительная часть производства электроэнергии в США шла в Национальную лабораторию в Окридже именно на эти цели. Обогащением урана занимался громадный комбинат площадью 200 000 м², на котором работало 12 000 человек.

После войны две сверхдержавы, США и Советский Союз, смогли накопить целые арсеналы атомных бомб (почти по 30 000 каждая), потому что освоили метод газовой диффузии. Но сегодня методом газовой диффузии получается лишь 33% мирового производства обогащенного урана.

Обогатительные предприятия второго поколения используют более хитроумную и более дешевую технологию: ультрацентрифуги, изобретение которых оказало громадное влияние на мировую политику. Ультрацентрифуга способна раскрутить капсулу с ураном до скорости в 100 000 оборотов в минуту. При такой скорости вращения один процент разницы в массе между ураном-235 и ураном-238 приобретает серьезное значение. Постепенно уран-238 оседает на дно капсулы, и через некоторое время из верхней части трубки можно извлекать уран-235.

Энергетически ультрацентрифугирование в 50 раз эффективнее, чем газовая диффузия. На сегодняшний день этим методом очищается 54% мирового урана*.

Одного года непрерывной работы 1000 ультрацентрифуг достаточно, чтобы наработать обогащенного урана на одну атомную бомбу. При этом технологию ультрацентрифугирования очень легко украсть. Секретность в ядерной области нарушалась не раз, и один из худших случаев такого рода в истории заключался в том, что никому не известный инженер-атомщик Абдул Кадир Хан (Abdul Qadeer Khan) сумел украсть

* Центрифужный метод был впервые разработан в СССР при участии немецких специалистов, и благодаря своим преимуществам перед газодиффузионным стал основным уже в 1960-е гг. А вот в наши дни за право построить в США первый центрифужный завод с американской фирмой USEC сражаются, причем успешно, европейские компании URENCO и AREVA. — *Прим. пер.*

БУДУЩЕЕ ЭНЕРГИИ

и продать чертежи ультрацентрифуги и отдельных компонент атомной бомбы. В 1975 г. Хан работал в Амстердаме на компанию URENCO, основанную Британией, Западной Германией и Нидерландами для обеспечения ураном европейских реакторов*. Получив доступ к секретным материалам, он передал их пакистанскому правительству. На родине его возвеличили как национального героя, однако есть подозрения, что он, помимо Пакистана, продал эту информацию Саддаму Хусейну и правительствам Ирана, Северной Кореи и Ливии.

Пакистан воспользовался украденной технологией, создал небольшой запас ядерного оружия и в 1998 г. начал проводить испытания. Между Пакистаном и Индией разгорелось ядерное соперничество, в ходе которого обе страны провели по серии испытательных взрывов и чуть не дошли до ядерной конфронтации. Возможно, именно благодаря купленным у Хана технологиям Иран, согласно разведанным, ускорил работы по ядерной программе и построил к 2010 г. 8000 ультрацентрифуг; в его планах строительство еще 30 000 таких установок. В результате другие ближневосточные государства испытывают давление и стремятся создать собственное ядерное оружие. Нестабильность в регионе растет.

Еще одна причина, по которой геополитика в XXI в. может претерпеть серьезные изменения, состоит в том, что на сцену выходит технология нового поколения — технология лазерного обогащения; потенциально она должна стать еще дешевле, чем ультрацентрифугирование.

Если посмотреть на электронные оболочки двух изотопов урана, может показаться, что они одинаковы. Это не удивительно — ведь ядра всех изотопов одного элемента имеют одинаковый электрический заряд. Но если тщательно проанализировать уравнения электронных оболочек, выяснится, что между

* И владевшую патентами Гернота Циппе, который вместе с Максом Штеенбеком, Исааком Кикоиным, Евгением Каменевым и коллективом СКБ Кировского завода в Ленинграде создал первую в мире промышленную ультрацентрифугу. — *Прим. пер.*

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

энергиями оболочек урана-235 и урана-238 существует крохотная разница. Осветив смесь изотопов лазерным лучом, можно настроить его таким образом, что его фотоны будут выбивать электроны из оболочек атомов урана-235, но не будут оказывать никакого действия на атомы урана-238. А ионизированные атомы урана-235 несложно отделить от электрически нейтральных атомов урана-238 при помощи электрического поля.

Энергетическая разница между двумя изотопами настолько мала, что многие страны потерпели неудачу в попытках воспользоваться ею. В 1980-е и 1990-е гг. США, Франция, Великобритания, Германия, Южная Африка и Япония безуспешно пытались подступить к этой технологии. К примеру, на один из американских проектов, в котором принимало участие 500 исследователей, было затрачено 2 млрд долларов.

Однако в 2006 г. австралийские ученые объявили, что не только решили эту проблему, но и намереваются коммерциализировать ее. Известно, что 30% стоимости уранового топлива приходится на процесс обогащения, поэтому австралийская компания Silex считает, что эта технология будет востребована на рынке. Silex даже подписала с General Electric контракт, намереваясь совместно выйти на рынок с новой технологией обогащения. Ее создатели надеются, что со временем по их методу будет производиться до трети мирового уранового топлива. В 2008 г. компания GE Hitachi Nuclear Energy объявила о планах строительства первого коммерческого предприятия по лазерному обогащению урана в городе Уилмингтон, штат Северная Каролина. Завод площадью 81 га должен быть построен к 2012 г. на площадке размером 6,5 км².

Для атомной энергетики это хорошая новость, поскольку в результате цены на обогащенный уран, вероятно, снизятся. Однако у остальных это вызывает беспокойство, поскольку рано или поздно данная технология распространится в нестабильные регионы мира — лишь вопрос времени. Иными словами, у нас осталось совсем немного времени на подписание договоров

БУДУЩЕЕ ЭНЕРГИИ

об ограничении и регулировании потоков обогащенного урана. Если мы не сумеем удержать контроль над новой технологией, атомные бомбы продолжат расплзаться по миру и, возможно, попадут даже в руки террористических организаций.

Покойный Теодор Тейлор (Theodore Taylor), с которым я был знаком, имел редкую возможность поучаствовать в разработке самых крупных и самых маленьких атомных боеголовок для Пентагона. Среди его разработок — орудие «Дейви Крокет» весом всего около 25 кг, способное тем не менее выстрелить во врага небольшой атомной бомбой. Тейлор был фанатичным сторонником атомного оружия и работал в проекте «Орион», целью которого было использовать ядерные бомбы в качестве двигателя космического корабля для полета к ближайшим звездам. Он рассчитал, что космический корабль можно разогнать до скорости, близкой к скорости света, за счет ударной волны от взрывов ядерных бомб позади него.

Я однажды спросил Тейлора, почему он разочаровался в атомных бомбах и переключился на проекты, связанные с использованием солнечной энергии. Он признался, что постоянно видит один и тот же кошмарный сон. Ему казалось, что продолжение работы над ядерным оружием могло привести лишь к одному: к созданию атомных боеголовок третьего поколения. (Боеголовки первого поколения в 1950-е гг. были огромны, доставить их к месту назначения было настоящей проблемой. Боеголовки второго поколения в 1970-е гг. стали небольшими и компактными; под носовой обтекатель ракеты их можно было засунуть целый десяток. Но бомбы третьего поколения — «дизайнерские» бомбы, специально разработанные для использования в различных обстоятельствах: в лесу, в пустыне, даже в открытом космосе.) Среди бомб третьего поколения есть и миниатюрная, которую террорист мог бы принести в чемодане и уничтожить таким образом целый город. Мысль о том, что дело всей его жизни может когда-нибудь попасть в руки террористов, мучила Тейлора до конца жизни.

СЕРЕДИНА ВЕКА (2030–2070 гг.)

Глобальное потепление

К середине века экономика, основанная на сжигании ископаемого топлива, вызовет закономерное и неизбежное следствие: глобальное потепление климата*. Тот факт, что Земля постепенно нагревается, уже не вызывает сомнений. За последние сто лет температура на планете выросла в среднем на 0,7 °С, и темп ее роста увеличивается**. Признаки несомненны, куда ни посмотри.

- Всего за 50 последних лет толщина арктических льдов уменьшилась, как ни поразительно, вдвое. Дело в том, что бóльшая часть арктических льдов просто плавает в воде и имеет температуру чуть ниже точки замерзания. Следовательно, льды чрезвычайно чувствительны к небольшим температурным изменениям в океане; их можно, как канарейку в шахте, использовать как индикатор таких изменений. Сегодня значительная часть северной ледяной шапки исчезает в летние месяцы, а уже летом 2015 г. лед в Арктике может растаять практически полностью. К концу XXI в. полярная ледяная шапка может вообще исчезнуть, нарушив тем самым теплообмен в океане и систему воздушных течений вокруг планеты, а также, соответственно, установившиеся погодные нормы.
- Гренландские шельфовые ледники только за 2007 г. уменьшились на 60 км², а в 2008 г. этот показатель составил уже 185 км². (Если весь лед Гренландии по

* Строго говоря, глобальное потепление уже началось, но к середине века его последствия скажутся в полной мере. — *Прим. пер.*

** Тот факт, что глобальное потепление происходит, не подвергается сомнению. А вот о соотношении вклада в него естественных причин и результатов деятельности человека идет ожесточенная и весьма политизированная научная дискуссия. — *Прим. пер.*

БУДУЩЕЕ ЭНЕРГИИ

каким-то причинам растает, уровень океана во всем мире поднимется примерно на 6 м.)

- От антарктического ледяного панциря, десятки тысяч лет сохранявшего стабильность, постепенно отламываются большие куски. Так, в 2000 г. откололся кусок льда размером со штат Коннектикут площадью около 11 000 км². В 2002 г. от ледника Туэйтса откололся кусок размером с Род-Айленд. (Если антарктические льды растают, уровень Мирового океана поднимется примерно на 60 м.)
- На каждый метр подъема уровня Мирового океана приходится в среднем 100 м отступления береговой линии. За последние сто лет уровень уже поднялся на 20 см, в основном в результате теплового расширения воды. По данным ООН, уровень морей к 2100 г. может подняться еще на 20–60 см. Некоторые специалисты, правда, считают, что ООН слишком осторожничает в оценке имеющихся данных. Ученые из Института арктических и альпийских исследований Университета Колорадо утверждают, что к 2100 г. уровень моря может подняться на 1–2 м. Так что постепенно карта береговых линий Земли будет меняться.
- Достоверные данные о температурах начали регистрироваться в конце XVIII в. При этом 1995, 2005 и 2010 гг. фигурируют среди самых жарких в истории наблюдений, а десять лет — с 2000-го по 2009-й — стали самым жарким десятилетием за все это время. Заметно растет и содержание двуокиси углерода в воздухе. Нынешний ее уровень — самый высокий за последние 100 000 лет.
- По мере прогревания земного шара тропические болезни начинают постепенно мигрировать на север. Недавняя вспышка лихорадки Западного Нила, переносимой комарами, может оказаться предвестницей грядущих бедствий. ООН особенно обеспокоена про-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

движением на север малярии. Обычно яйца множества вредных насекомых гибнут каждую зиму при промерзании почвы. Но зимы становятся короче, и опасные насекомые, скорее всего, тоже начнут неостановимое наступление на север.

Двуокись углерода — парниковый газ

Согласно Межправительственной комиссии ООН по изменению климата, ученые пришли к выводу* о том, что с 90%-ной вероятностью изменение климата вызвано деятельностью человека, в особенности выпуском в атмосферу углекислого газа при сжигании нефти и угля. Солнечный свет легко проходит сквозь углекислый газ и нагревает землю, а вот возникшее при этом инфракрасное излучение уже не может так легко пройти обратно сквозь слой углекислого газа. Энергия солнечного света, попавшая на Землю, оказывается в ловушке и не может уйти обратно в космос.

Нечто подобное можно наблюдать в парнике или в салоне автомобиля. Солнечный свет нагревает воздух внутри, а стекло не дает нагретому воздуху выйти наружу.

Ситуация угрожающая. Количество выделяемого углекислого газа резко выросло, особенно за последние сто лет. До Промышленной революции содержание углекислого газа в воздухе составляло 270 частей на миллион, или 0,0270%; сегодня оно подскочило до 387 частей на миллион, или 0,0387%. (В 1900 г. в мире потреблялось 150 млн баррелей нефти. В 2000 г. потребление достигло 28 млрд баррелей, т. е. увеличилось в 185 раз. В 2008 г. в воздух было выпущено 9,4 млрд т углекислого газа от сжигания ископаемого топлива, но лишь 5 млрд т было переработано в океанах, почве и растительности.

* Сама эта формулировка подчеркивает степень политизированности проблемы. В норме ученым не требуется посредник в лице комиссии ООН для публикации своих научных выводов. — *Прим. пер.*

Остальное так и останется в воздухе на ближайшие десятилетия, нагревая Землю.)

Визит в Исландию

Подъем температуры — не газетная утка, в этом можно без труда убедиться, изучив ледяные керны. Ученые пробурили в древних льдах Арктики немало скважин и сумели извлечь из них пузырьки воздуха возрастом в несколько тысяч лет. Химический анализ воздуха из этих пузырьков позволил ученым реконструировать температурный режим и содержание углекислого газа в атмосфере более чем на 600 000 лет назад. Очень скоро мы сможем узнать, какие погодные условия преобладали на Земле миллион лет назад.

Я видел все это своими глазами. Однажды мне довелось прочесть лекцию в Рейкьявике, столице Исландии, и посетить Исландский университет, где, собственно, и исследуются ледяные керны. Когда самолет приземляется в Рейкьявике, поначалу вы не видите вокруг ничего, кроме снега и дикого камня; если бы не снег, пейзаж очень напоминал бы лунный. Тем не менее бесплодная и неприветливая земля Арктики представляет собой идеальное место для исследования климата Земли на сотни тысяч лет назад.

При посещении лаборатории, температура в которой всегда поддерживается ниже точки замерзания, мне пришлось пройти через тяжелые теплоизолирующие двери. Внутри я увидел бесконечные стеллажи с длинными металлическими трубками длиной около 3 м и диаметром около 4 см. В каждой из таких трубок содержится образец льда, извлеченный из скважины при бурении, который был снегом, выпавшим в этих краях тысячи лет назад. Если снять металлические трубки, то каждый такой образец можно тщательно рассмотреть и исследовать. Правда, лично я с первого взгляда увидел только длинную тонкую колонку белого льда. Но затем, при ближайшем рассмотрении, я заметил, что

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

лед на самом деле полосат и состоит из тонких разноцветных слоев.

Чтобы точно датировать ледяные образцы, ученые используют самые разные методы. В некоторых слоях содержатся маркеры, отмечающие различные важные события, к примеру выпадение сажи после извержения вулкана. Даты крупных извержений известны достаточно точно, так что слои-маркеры могут служить опорными точками при датировании остальной части керна.

Из ледяных кернов затем делают тонкие срезы, которые можно подробно исследовать. Посмотрев на один такой срез под микроскопом, я увидел крошечные, поистине микроскопические пузырьки. По спине пробежал холодок, когда я понял, что вижу воздушные пузырьки, запертые в ледяной массе десятки тысяч лет назад, еще до возникновения человеческой цивилизации.

Содержание углекислого газа внутри каждого пузырька измерить несложно, гораздо сложнее определить температуру воздуха в момент залегания льда. (Для этого ученые анализируют воду в пузырьке. Молекулы воды могут содержать разные изотопы водорода. Когда температура падает, вода с более тяжелыми изотопами конденсируется быстрее, чем обычная. Следовательно, измерив содержание в воде молекул с тяжелыми изотопами, можно определить, при какой температуре сконденсировалась эта вода.)

Наконец, тщательно проанализировав состав тысяч ледяных кернов, ученые смогли сделать несколько существенных выводов. Они выяснили, что температура и содержание углекислого газа на протяжении многих тысяч лет изменялись параллельно и даже синхронно. Когда росла одна из этих величин, росла и другая.

Самое важное то, что удалось зафиксировать резкий скачок температуры и содержания углекислого газа за последние сто лет. Это очень необычно, так как в большинстве своем уровни менялись постепенно, на протяжении тысяч лет. Ученые утверж-

БУДУЩЕЕ ЭНЕРГИИ

дают, что этот необычный пик не является частью естественно-го процесса потепления, а прямо указывает на вмешательство человека.

Существуют и другие способы показать, что внезапный резкий рост вызван именно деятельностью человека, а не проявлением естественных циклов. Компьютерное моделирование на сегодняшний день так развито, что мы вполне можем посчитать температурную динамику Земли с учетом деятельности человека и без нее. По результатам такого моделирования получается, что без цивилизации и искусственного производства углекислого газа температурная кривая была бы относительно плоской. Но стоит добавить человеческий фактор, и можно показать, что возникает резкий скачок и температуры, и содержания двуокиси углерода. При этом предсказанный пик в точности совпадает с реальным наблюдаемым пиком.

Наконец, количество солнечной энергии, падающее на каждый квадратный метр земной поверхности, можно измерить непосредственно. Можно также подсчитать количество тепла, отраженного Землей в открытый космос. В нормальных условиях эти две величины должны совпадать*, так чтобы количество попадающего на планету тепла равнялось количеству тепла уходящего. Но в реальности мы обнаруживаем, что эти величины не равны, и разница между ними в настоящее время нагревает Землю. Затем, если мы вычислим количество энергии, производимое человеком, получим точное соответствие**. Следова-

* Во-первых, дополнительным источником нагрева Земли является радиоактивный распад сохранившихся долгоживущих изотопов урана, тория и калия. Во-вторых, совпадать должно количество поступившей энергии и энергии, излученной Землей в космос, потому что отраженная часть в балансе не участвует. В-третьих, надежно измерить количество поглощенной солнечной энергии ни на каждом квадратном метре, ни по Земле в целом невозможно. Можно лишь определить количество пришедшей к Земле солнечной энергии (так называемая солнечная постоянная) и попытаться оценить ту ее часть, которая была отражена обратно в космос от облаков и льдов. Такие измерения ведутся лишь с конца 1970-х гг., и ни их продолжительность, ни точность не достаточны для уверенных выводов об энергетическом балансе Земли в прошлом и настоящем. — *Прим. пер.*

** Следует отметить, что этот фундаментальный вывод автор дает без каких-либо ссылок на конкретные научные исследования. — *Прим. пер.*

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

тельно, именно деятельность человека вызывает нагрев Земли и глобальное потепление климата.

К сожалению, даже если бы сегодня человечество полностью прекратило производство углекислого газа, уже имеющихся в атмосфере запасов было бы достаточно, чтобы глобальное потепление продолжалось еще несколько десятков лет.

В результате к середине века положение может достичь критической точки.

Ученые предсказывают, что если подъем уровня Мирового океана продолжится, то к середине века или немного позже многие прибрежные города исчезнут с лица земли. Значительную часть Манхэттена придется эвакуировать, а Уолл-стрит полностью окажется под водой. Правительствам придется решать, за какие из крупных прибрежных городов стоит бороться, а какие просто обречены. Некоторые города, возможно, удастся спасти при помощи сложной системы дамб и шлюзов. Другие придется бросить, что вызовет массовую миграцию людей. А поскольку большинство деловых центров и самых населенных городов мира располагаются на океанском побережье, последствия для мировой экономики могут быть катастрофическими.

Но даже если некоторые города удастся спасти, любой сильный шторм будет угрожать им наводнением, а даже сравнительно небольшое количество воды может полностью парализовать инфраструктуру крупного города. К примеру, в 1992 г. в результате сильнейшего шторма был почти полностью затоплен Манхэттен, парализована система метро и железная дорога на Нью-Джерси. А экономика без транспортной системы бессильна.

Бангладеш и Вьетнам будут затоплены

В докладе Межправительственной комиссии по изменению климата названы три горячие точки, три места потенциальных катастроф. Это Бангладеш, дельта Меконга во Вьетнаме и дельта Нила в Египте.

БУДУЩЕЕ ЭНЕРГИИ

Хуже всего ситуация в Бангладеш — стране, которую регулярно заливают во время штормов без всякого глобального потепления. Территория этого государства в основном представляет собой плоскую равнину, лежащую практически на уровне моря. Несмотря на значительные успехи последних лет, это по-прежнему одна из беднейших стран мира, при этом плотность населения там одна из самых высоких. (Ее население насчитывает 161 млн человек, что сравнимо с населением России, при этом по площади Бангладеш меньше России в 120 раз.) Если уровень океана поднимется хотя бы на метр, около 50% площади страны будет затоплено. Природные бедствия случаются там почти каждый год, но в сентябре 1998 г. мир с ужасом наблюдал прелюдию к тому, что когда-нибудь может стать обычным явлением. Сильное наводнение затопило две трети территории страны, практически в одну ночь оставив 30 млн человек без крыши над головой. В результате одной из самых страшных природных катастроф последних лет погибло около 1000 человек, было разрушено 10 000 км дорог.

Еще одна страна, где даже небольшой подъем уровня Мирового океана вызовет настоящую катастрофу, — это Вьетнам. К середине века эта страна с населением 87 млн человек может лишиться своих основных сельскохозяйственных земель. Особенно уязвима здесь дельта реки Меконг, где выращивается половина всего вьетнамского риса и живет 17 млн человек. По данным Всемирного банка, подъем уровня океана всего на метр заставит сняться с места 11% населения Вьетнама. Плодородные почвы дельты Меконга, оказавшись под соленой водой, погибнут навсегда. Лишившись домов и земель, миллионы людей устремятся в поисках убежища в город Хошимин. Но четверть территории этого мегаполиса также окажется под водой.

В 2003 г. Пентагон заказал Global Business Network исследование, которое показало, что в худшем случае глобальное потепление может вызвать на Земле столь же глобальный хаос. Миллионы беженцев двинутся куда глаза глядят, игнорируя

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

государственные границы; правительства потеряют всякий авторитет и рухнут; начнутся мародерство, мятежи и хаос. В этой отчаянной ситуации соседние страны, столкнувшись с угрозой вторжения миллионов отчаявшихся людей, могут прибегнуть к ядерному оружию.

«Можно представить, что Пакистан, Индия и Китай — страны, обладающие ядерным оружием, — начинают вступать в пограничные стычки из-за беженцев, пахотной земли и права пользования реками, протекающими по территории нескольких стран», — говорится в докладе. Питер Шварц (Peter Schwartz), основатель Global Business Network и основной исполнитель заказа Пентагона, раскрыл мне подробности этого сценария. Он считает, что самой горячей точкой станет граница между Индией и Бангладеш. Серьезный кризис в Бангладеш может сорвать с насиженных мест до 160 млн человек. Возникнет одна из величайших миграционных волн в истории человечества. Стремительно возрастет напряженность, границы рухнут, местные власти ничего не смогут сделать, повсюду вспыхнут массовые мятежи. Шварц считает, что некоторые страны в качестве крайней меры могут прибегнуть к ядерному оружию.

В самом худшем случае парниковый эффект может стать самоподдерживающимся. К примеру, при таянии арктической тундры могут высвободиться миллионы тонн метана из гниющих растений. Под покровом тундры, покрывающей в Северном полушарии площадь около 23 млн км², кроется замороженная растительность еще времен последнего оледенения, закончившегося несколько тысяч лет назад. Углекислого газа и метана в ней больше, чем во всей земной атмосфере, и таяние вечной мерзлоты представляет страшную опасность для климата. Мало того, метан — еще более страшный парниковый газ, чем двуокись углерода. Он не задерживается в атмосфере надолго, зато вызывает гораздо более серьезные последствия. Высвобождение громадных запасов метана из тающей тундры может повлечь за собой стремительный подъем температуры, что, в свою

очередь, вызовет дальнейшее высвобождение метана и запустит неустойчивый цикл глобального потепления.

Технические решения

Ситуация отчаянная, но точки невозврата человечество еще не достигло. Контролирование выбросов парниковых газов в атмосферу — проблема в основном экономическая и политическая, а не техническая. Производство углекислого газа растет одновременно с активизацией экономики и связано, таким образом, с богатством. К примеру, США в настоящий момент производят около 25% всего углекислого газа в мире. Причина в том, что около четверти всей мировой экономической деятельности сосредоточено именно в США. Правда, в 2009 г. Китай обогнал Соединенные Штаты по выработке парниковых газов, и связано это в основном с взрывным ростом экономики этой страны. Вот основная причина того, почему развитые страны не спешат принимать меры против глобального потепления: эти меры помешают экономической деятельности и отрицательно скажутся на процветании.

Предложено немало путей борьбы с этим мировым кризисом, но уже сегодня ясно, что быстрых разовых мер, скорее всего, будет недостаточно. Проблему могут разрешить только принципиальные изменения в энергетической системе Земли и в расходовании энергии. Серьезные ученые предлагают и технические меры, но ни одно подобное предложение не встретило пока широкой поддержки. Среди предложений:

- **Искусственное уменьшение прозрачности атмосферы.** Одно из предложений состоит в том, чтобы запустить в верхние слои атмосферы ракеты с подходящими веществами, такими как двуокись серы, и рассеять их на большой высоте. Цель — усилить отражение солнечного света от Земли в космос и тем

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

самым слегка охладить планету. Более того, нобелевский лауреат Пол Крутцен (Paul Crutzen) считает, что такая мера могла бы стать «последним шансом» — шагом, при помощи которого человечество в последний момент могло бы остановить глобальное потепление. Идея возникла в 1991 г., когда ученые с большим интересом наблюдали, как сильнейший вулканический взрыв горы Пинатубо на Филиппинах забросил в верхние слои атмосферы 10 млрд тонн вулканической пыли. Небеса тогда заметно потемнели, а средняя температура на земном шаре уменьшилась на 0,6 °С. На основании полученных данных ученые рассчитали, сколько химикатов необходимо будет закинуть в стратосферу, чтобы снизить среднюю температуру на Земле. Это, конечно, серьезное предложение, но критики сомневаются в том, что такая мера сама по себе сможет решить наболевшую проблему. К примеру, почти ничего не известно о том, как именно повлияет на климат выброс в атмосферу громадного количества пыли. Может быть, действие его будет краткосрочным, а может, выявившиеся побочные эффекты только усилят первоначальную проблему. К примеру, после взрыва Пинатубо в мире наблюдалось довольно резкое падение количества осадков; если так произойдет и во время эксперимента, по всей Земле могут начаться засухи. Согласно оценкам, на полевые испытания этой идеи потребовалось бы 100 млн долларов. А поскольку сульфатные аэрозоли дают лишь временный эффект, на забрасывание их в больших количествах в стратосферу ежегодно уходило бы как минимум 8 млрд долларов.

- **Стимулирование роста водорослей.** Еще одно предложение — сбросить в океан большое количество железосодержащих веществ. Выступая в качестве

БУДУЩЕЕ ЭНЕРГИИ

минеральных удобрений, они вызовут активный рост водорослей, что, в свою очередь, увеличит количество поглощаемого ими углекислого газа. Однако когда корпорация Planktos со штаб-квартирой в Калифорнии объявила, что планирует самостоятельно начать операцию по удобрению части Южной Атлантики железом (компания надеялась таким образом искусственно вызвать цветение воды и быстрое размножение фитопланктона, который должен был активно поглощать из воздуха углекислый газ), страны, связанные Лондонской конвенцией о регулировании сбросов в океан, заявили о своей обеспокоенности, а некая группа под флагом ООН призвала к временному мораторию на подобные эксперименты. У Planktos закончились деньги, и проект был прекращен.

- **Связывание углерода.** Еще одна возможность — связывание углерода. Это процесс, при котором углекислый газ, выделяемый угольными станциями, переводится в жидкую форму и не допускается в окружающую среду; к примеру, его можно захоранивать под землей. Хотя в принципе такой проект мог бы работать, связывание углерода — очень дорогой процесс, к тому же он ничего не может сделать с газом, уже выпущенным в атмосферу. Начиная с 2009 г. инженеры всего мира с интересом следят за первым серьезным испытанием этого метода. Громадная электростанция Mountaineer, построенная в 1980 г. в Западной Вирджинии, переоборудуется таким образом, чтобы не выпускать двуокись углерода в окружающую среду. Сжиженный газ планируется закачивать на глубину около 2,5 км в слой доломита. Постепенно эта жидкость образует в глубине земли массу высотой 9–12 м и длиной несколько сотен метров. Компания American Electric Power, владелец электростанции, планирует

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

закачивать под землю по 100 000 т двуокиси углерода в течение 2–5 лет. Это всего 1,5% годового производства углекислого газа на данной электростанции, но со временем система сможет улавливать до 90% выбросов. Первоначальные затраты по проекту составят 73 млн долларов. В случае успеха эту схему можно будет быстро распространить на другие электростанции, к примеру, на четыре гигантские угольные станции суммарной мощностью 6 ГВт, расположенные неподалеку (из-за них этот район был даже прозван Мегаваттной долиной). Неизвестных здесь множество: неясно, что будет происходить со сжиженным углекислым газом дальше: будет ли он потихоньку мигрировать, не соединится ли с водой и не образует ли угольную кислоту, которая затем может отравить грунтовые воды. Однако если эксперимент пройдет успешно, этот подход может стать частью целого пакета технологий, при помощи которых человечество будет бороться с глобальным потеплением.

- **Генная инженерия.** Еще одно предложение сводится к тому, чтобы создать при помощи генной инженерии такие формы жизни, которые могли бы поглощать углекислый газ в больших количествах. Энтузиастом такого подхода является, к примеру, Крейг Вентер (J. Craig Venter), сделавший себе имя и состояние на том, что придуманные им высокоскоростные технологии позволили расшифровать геном человека на несколько лет раньше запланированного срока. «Мы рассматриваем геном как программу, а может, и как операционную систему клетки», — говорит он. Его цель — научиться переписывать эту программу, чтобы получить возможность генетически модифицировать или создавать практически с нуля микроорганизмы, так чтобы они поглощали углекислый газ

БУДУЩЕЕ ЭНЕРГИИ

с электростанций и перерабатывали его в полезные вещества, такие как природный газ. Он замечает: «На нашей планете уже существуют тысячи, а может, и миллионы организмов, умеющих это делать». Фокус в том, чтобы модифицировать их и таким образом увеличить выход, а также приспособить к существованию на угольных электростанциях. «Мы считаем, что у этой отрасли громадный потенциал и что она сможет заменить собой всю нефтехимическую промышленность. Не исключено, что это произойдет уже в ближайшем десятилетии», — оптимистично заявляет он.

Принстонский физик Фримен Дайсон (Freeman Dyson) выступает за другой вариант — создание генетически модифицированных деревьев, которые будут поглощать углекислый газ. Он заявил, что триллиона таких деревьев, вполне возможно, будет достаточно, чтобы надежно контролировать содержание углекислого газа в воздухе. В статье «Можем ли мы контролировать углекислый газ в атмосфере?» он выступил за создание «углеродного банка быстрорастущих деревьев», которые могли бы регулировать уровень углекислого газа.

Однако в этом случае, как и в любых планах по масштабному использованию генной инженерии, следует соблюдать осторожность и остерегаться побочных эффектов. Невозможно отозвать из природы живые существа так, как мы отзываем бракованные машины. Оказавшись в природных условиях, генетически модифицированный вид может неожиданным и незапланированным образом повлиять на другие виды животных и растений; в частности, он может вытеснить местные виды и нарушить сложившееся равновесие пищевой цепочки.

Как ни печально, политики не проявили должного интереса ко всем вышеперечисленным предложениям. Тем не менее

когда-нибудь проблема глобального потепления станет настолько болезненной и взрывоопасной, что политикам придется что-то решать.

Критическими здесь, вероятно, станут следующие несколько десятилетий. К середине века человечество, по идее, перейдет на водородное топливо, а развитие термоядерной и солнечной энергетики в сочетании с возобновляемыми видами энергии позволит сделать экономику гораздо менее зависимой от потребления ископаемого топлива. Рыночные механизмы и водородные технологии дадут нам долгосрочное решение проблемы глобального потепления. Но сейчас, до наступления водородной эры, продолжается опасный период. В краткосрочной перспективе ископаемое топливо по-прежнему является самым дешевым источником энергии, а потому глобальное потепление будет грозить человечеству еще не один десяток лет.

Термоядерная энергия

К середине века на сцене появится новый игрок, способный резко изменить правила игры. Речь идет об энергии синтеза, или термоядерной энергии. К тому времени это техническое решение, по всей видимости, станет самым конкурентоспособным и, возможно, позволит решить проблему энергии навсегда. Если на атомных станциях энергия (и большое количество радиоактивных отходов) получается за счет расщепления ядер атомов урана, то термоядерный синтез основан на слиянии атомов водорода. При этом выделяется огромное количество тепла (а значит, энергии) и очень мало отходов.

В отличие от распада, синтез представляет собой имитацию процессов, протекающих в глубинах Солнца. Энергия, скрытая в глубине атомов водорода, обеспечивает существование Вселенной. Энергия синтеза зажигает Солнце и освещает небеса. В ней заключена главная тайна звезд. Всякий, кто сумеет обуздать термоядерный синтез, получит вечный источник неогра-

БУДУЩЕЕ ЭНЕРГИИ

нической энергии. А топливо для термоядерных станций можно добывать из обычной морской воды. Термоядерный синтез дает в 10 млн раз больше энергии на единицу веса, чем бензин, и в обычном стакане воды содержится столько же энергии, сколько в 500 000 баррелей нефти.

Именно синтез (а не распад) использовала природа для обеспечения нашей Вселенной энергией. При образовании звезд газовый шар, богатый водородом, постепенно сжимается под действием гравитации, одновременно разогреваясь до огромных температур. Когда температура газа достигает порядка 50 млн градусов (конкретная цифра меняется в зависимости от условий), ядра водорода внутри шара, сталкиваясь между собой, начинают сливаться с образованием ядер гелия. При этом высвобождается громадное количество энергии, и газ вспыхивает. (Если говорить точнее, сжатие должно обеспечить выполнение так называемого критерия Лоусона, который требует, чтобы водород был сжат до определенной плотности при определенной температуре на определенное время. Если все три условия — плотность, температура и время — выполнены, возникает реакция ядерного синтеза. Результатом может быть водородная бомба, звезда или ядерный синтез в реакторе.)

Итак, есть ключевое условие: для высвобождения космических количеств энергии необходимо нагреть и сжать водород до определенной степени.

Но до сих пор все попытки обуздать эту космическую мощь терпели неудачу. Оказалось, что нагреть водород до десятков миллионов градусов, при которых протоны начнут объединяться в ядра гелия и выделять энергию, крайне трудно.

Более того, общество критически относится ко всем обещаниям такого рода — ведь каждые двадцать лет ученые заявляют, что через двадцать лет термоядерная энергия будет освоена. На самом же деле сейчас, после полувека сверхоптимистических обещаний, физики все больше убеждаются в том, что управляемый термояд действительно на подходе и первые

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

экспериментальные реакторы могут быть созданы уже к 2030 г. Вполне возможно, что к середине века появятся и коммерческие станции.

Надо отметить, что общественность имеет полное право скептически относиться к термоядерному синтезу — слишком много в прошлом было хвастовства, обмана и просто неудач в этой области. В 1951 г., когда холодная война была в полном разгаре и разработка водородной бомбы шла бешеными темпами, президент Аргентины Хуан Перон объявил с большой помпой, что ученые его страны совершили прорыв и покорили энергию солнца. В средствах массовой информации поднялся страшный шум. Заявление казалось невероятным, но крупнейшие газеты мира, включая *The New York Times*, помещали его на первых полосах. Аргентина, хвастал Перон, совершила великое научное открытие там, где потерпели неудачу сверхдержавы. Неизвестный немецкий ученый Рональд Рихтер (Ronald Richter) убедил Перона профинансировать его «термотрон» и пообещал взамен неограниченное количество энергии и вечную славу Аргентине.

Американское научное сообщество, все еще лихорадочно работавшее над созданием водородной бомбы и мечтавшее успеть раньше русских, объявило заявление Перона чепухой. Ученый-атомщик Ральф Лэпп (Ralph Lapp) сказал тогда: «Я знаю, какой еще материал используют аргентинцы. Это чушь».

Другого ученого-атомщика, Дэвида Лилиенталя (David Lilienthal), спросили, существует ли хоть «самый крохотный шанс» на то, что аргентинцы могут оказаться правы. Он ответил: «Меньше, чем вы сказали».

Под таким давлением Перон уперся и стоял на своем; он намекал, что сверхдержавы просто завидуют Аргентине, которая сумела всех обойти. Момент истины наступил год спустя, когда представители Перона побывали в лаборатории Рихтера. Вообще, когда со всех сторон посыпались обвинения и вопросы, Рихтер повел себя странно; чем дальше, тем нелепее

БУДУЩЕЕ ЭНЕРГИИ

и беспорядочнее становились его поступки. Перед прибытием инспекторов он подорвал дверь своей лаборатории при помощи кислородных баллонов и написал на листе бумаги слова «атомная энергия». Он заказал порох и собирался поместить его в реактор. Создавалось впечатление, что ученый сошел с ума. Когда инспекторы поместили рядом со «счетчиками излучения» Рихтера кусочек радия, ничего не произошло; очевидно, его оборудование было просто подделкой. Позже Рихтер был арестован.

Но самый знаменитый случай связан с именами Стэнли Понса (Stanley Pons) и Мартина Флейшманна (Martin Fleischmann), двух известных и уважаемых химиков из Университета Юты, которые в 1989 г. объявили об открытии так называемого «холодного синтеза», т. е. реакции ядерного синтеза, протекающей при комнатной температуре. Ученые утверждали, что поместили в воду металлический палладий, который затем каким-то волшебным образом сжал атомы водорода до такой степени, что они слились и образовали гелий. Энергия солнца высвободилась практически на лабораторном столе.

Сообщение вызвало настоящий шок. Едва ли не все газеты мира поместили это открытие на первую полосу. Журналисты заговорили о конце энергетического кризиса и начале новой эры, эры неограниченной энергии. Штат Юта немедленно провел закон и выделил 5 млн долларов на создание Национального института холодного синтеза. Даже японские автопроизводители поспешили пожертвовать миллионы долларов на исследования в этой новой, но невероятно перспективной области. Вокруг холодного синтеза начали собираться последователи, мгновенно уверовавшие в него; образовалось даже что-то вроде секты.

В отличие от Рихтера, Понс и Флейшманн пользовались уважением в ученой среде и рады были поделиться своими результатами. Они предъявили оборудование и полученные данные, чтобы все желающие могли увидеть их воочию и убедиться.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Но затем ситуация осложнилась. Ученые пользовались настолько простым оборудованием, что повторить их опыт могла любая лаборатория мира. Естественно, желающих своими глазами увидеть поразительный результат хватало. Увы, большинству групп не удалось зарегистрировать какого бы то ни было выделения дополнительной энергии, и холодный синтез был объявлен тупиковым направлением. Однако забыть об этой истории тоже не удавалось, поскольку время от времени появлялись новые сообщения о том, что какие-то группы повторили эксперимент успешно.

Наконец вмешалось физическое сообщество. Физики проанализировали уравнения Понса и Флейшманна и сделали вывод, что они некорректны. Во-первых, если утверждения ученых верны и в ходе эксперимента действительно происходило то, о чем идет речь, из сосуда с водой, в котором происходил синтез, должен был вылететь обжигающий поток нейтронов. (В типичной реакции синтеза два ядра водорода сливаются в ядро гелия, выделяя при этом энергию и нейтрон.) Сам факт, что ученые остались живы, означал, что никакого ядерного синтеза в эксперименте не было; если бы он происходил, они должны были умереть от радиационных ожогов. Во-вторых, скорее всего, Понс и Флейшманн столкнулись с какой-то химической, а не термоядерной реакцией. И наконец, заключили физики, металлический палладий не в состоянии сблизить атомы водорода в достаточной степени, чтобы вызвать слияние. Это означало бы нарушение квантовой теории.

Несмотря ни на что, споры о холодном синтезе продолжаются по сей день. Время от времени появляются новые сообщения о том, что кому-то удалось получить холодный синтез. Проблема в том, что никому не удается воспроизвести такой результат надежно и по первому требованию. В конце концов, какой смысл делать автомобильный двигатель, если он будет работать от случая к случаю? Наука основывается на воспроизводимых, проверяемых и опровержимых результатах, которые можно получить в любой момент.

Горячий синтез

Надо сказать, что преимущества термоядерной энергии настолько велики, что загадка термоядерного синтеза влечет к себе ученых, как песня сирен влекла древних мореплавателей.

Так, загрязнение окружающей среды от синтеза минимально. Это относительно чистый способ получения энергии, с помощью которого природа обеспечивает энергией нашу Вселенную. Один из побочных продуктов реакции — гелий, который ко всему прочему пользуется спросом и имеет коммерческую стоимость. Другой — радиоактивная сталь камеры реактора, которую со временем надо будет захоранивать, потому что в течение нескольких десятков лет она будет представлять некоторую опасность. Но по сравнению с обычным урановым атомным энергоблоком (который каждый год производит по 30 т высокоактивных отходов, опасных на протяжении тысяч, а то и десятков миллионов лет) количество «мусора» здесь несущественно.

Кроме того, на термоядерной станции не может произойти такой катастрофы, как расплавление активной зоны. Урановые станции — именно потому, что в активной зоне у них находятся тонны высокоактивных отходов, — продолжают и после выключения реактора производить значительное количество тепла. Именно это остаточное тепловыделение может со временем расплавить и топливные стержни, и стальной корпус и привести к попаданию расплавленного топлива в грунтовые воды, взрыву и катастрофе, так красочно показанной в фильме «Китайский синдром».

Термоядерные станции по определению намного безопаснее. К примеру, если выключить магнитное поле такого реактора, горячая плазма соприкоснется со стенками камеры реактора, и процесс ядерного синтеза мгновенно прекратится. В термоядерном реакторе не может возникнуть неуправляемая цепная реакция; в случае сколько-нибудь серьезного происшествия он просто выключится.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

«Даже если термоядерная электростанция будет стерта с лица земли, уровень радиации в километре от периметра окажется настолько низким, что эвакуация вообще не потребуется», — говорит Фаррох Наджмабади, руководитель Центра энергетических исследований Университета Калифорнии в Сан-Диего.

Несмотря на чудесные достоинства термоядерной энергетики, не стоит забывать об одной маленькой подробности: ее не существует на свете. Никому пока не удалось построить действующий термоядерный реактор.

Однако физики высказывают осторожный оптимизм. «Всего десять лет назад некоторые ученые сомневались в том, что можно получить управляемый термоядерный синтез хотя бы в лаборатории. Теперь мы точно знаем: синтез возможен. Вопрос в том, окажется ли он экономически выгодным», — говорит сотрудник General Atomics Дэвид Болдуин (David E. Baldwin), курирующий один из крупнейших термоядерных реакторов в США, реактор DIII-D.

Лазерный термоядерный синтез

В ближайшие несколько лет ситуация в этой области может сильно измениться.

В последнее время ученые вели исследования одновременно по нескольким направлениям, и спустя несколько десятков лет сплошных неудач наконец настал радостный момент. Физики убеждены, что термояд вот-вот будет покорен. Во Франции с участием многих европейских стран, России, США и Японии строится Международный термоядерный экспериментальный реактор (ITER). В США тоже имеется экспериментальный реактор — National Ignition Facility (NIF).

Мне выпала возможность увидеть аппарат лазерного синтеза NIF собственными глазами, и это грандиозное зрелище. Поскольку термоядерный синтез состоит в близком родстве

БУДУЩЕЕ ЭНЕРГИИ

с водородной бомбой, реактор NIF базируется в Ливерморской национальной лаборатории имени Лоуренса, где военные разрабатывают водородные боеголовки. Чтобы попасть туда, мне пришлось пройти через многоуровневую систему охраны.

Сам реактор, когда я наконец до него добрался, произвел на меня потрясающее впечатление. Я привык видеть лазеры в университетских лабораториях (более того, непосредственно под моим кабинетом в Городском университете Нью-Йорка располагается одна из крупнейших лазерных лабораторий в штате Нью-Йорк), но NIF меня ошеломил. Сам реактор занимает десятиэтажное здание размером с три футбольных поля, где 192 гигантских лазера направляют свои лучи в длинный туннель. Это крупнейшая лазерная система в мире, по мощности она превосходит предыдущую в 60 раз.

Пройдя по длинному туннелю, лазерные лучи попадают на систему зеркал, которые фокусируют их все на крошечной, размером с булавочную головку, мишени из дейтерия и трития (два тяжелых изотопа водорода). Невероятно, но лазерные лучи суммарной мощностью 500 трлн ватт сходятся на крошечном шарике, едва видимом невооруженным глазом, и поджаривают его до температуры в 100 млн градусов (намного горячее, чем в центре Солнца). За краткий миг в этом колоссальном импульсе выделяется энергия, которую выработали бы за этот промежуток времени полмиллиона атомных энергоблоков. Поверхность микроскопического шарика быстро испаряется, и ударная волна от этого микровзрыва сжимает шарик и запускает реакцию синтеза.

Строительство NIF завершилось в 2009 г., и в настоящий момент реактор проходит испытания. Если все получится, он может стать первым аппаратом термоядерного синтеза, которому удастся выдать не меньше энергии, чем тратится на его работу. Эта машина не предназначена для производства электроэнергии, она должна лишь продемонстрировать, что лазерные лучи можно сфокусировать так, чтобы нагреть богатую водородом

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

мишень, запустить термоядерную реакцию и получить в конечном итоге больше энергии, чем затрачено.

Я побеседовал с одним из директоров лаборатории NIF Эдвардом Мозесом (Edward Moses) о надеждах и мечтах, связанных с его детищем. Директор был в каске и походил скорее на строительного рабочего, чем на видного физика-ядерщика, заведующего крупнейшей лазерной лабораторией в мире. Он признался мне, что в прошлом было немало неудачных проектов, но уверен, что этот проект реален: он и его команда вот-вот получают результат, который станет важным достижением в науке и войдет во все учебники истории. Они первые обуздают звездную энергию на Земле в мирных целях. Разговаривая с Мозесом, понимаешь, что такие проекты, как NIF, держатся на энтузиазме и энергии ученых. Он сказал мне, что заранее предвкушает день, когда сможет пригласить президента Соединенных Штатов в свою лабораторию и объявить о новом историческом свершении.

Однако с самого начала проект NIF сопровождают неудачи. Иногда происходят и вовсе странные вещи: так, в 1999 г. заместитель руководителя NIF Майкл Кэмпбелл (E. Michael Campbell) вынужден был уйти в отставку, поскольку приписал себе степень доктора философии в Принстоне, которой в действительности не имел. Затем начали переносить срок завершения строительства, первоначально назначенный на 2003 г. Стоимость проекта подскочила с 1 до 4 млрд долларов. Наконец в марте 2009 г., с шестилетним опозданием, объект был сдан.

Говорят, что дьявол — в мелочах. В лазерном синтезе, к примеру, все 192 лазерных луча должны упасть на поверхность крошечного шарика с величайшей точностью, только тогда испарение произойдет равномерно и шарик «схлопнется». Все лучи должны достичь мишени в крошечном интервале времени длительностью 30 триллионных долей секунды. Малейший сбой в настройке лазеров или малейшая неровность самого шарика-мишени — и все, симметрия будет нарушена и мишень взорвется наружу, в одном направлении, а не сферически вовнутрь.

БУДУЩЕЕ ЭНЕРГИИ

Если шарик-мишень отклоняется от сферической формы более чем на 50 нм (или примерно на 150 атомов), он тоже не сможет взорваться правильно. Так что основная проблема лазерного синтеза — обеспечить точное согласование лазерных лучей и правильную форму мишени.

Европейский союз ведет работы по собственной версии лазерного синтеза. Для испытаний будет построена лаборатория High Power Laser Energy Research Facility (HiPER); предполагается, что европейский реактор будет меньше, но несколько эффективнее NIF. Строительство HiPER предполагалось начать в 2011 г.

В настоящее время надежды ученых сосредоточены на американском проекте NIF. Однако если с лазерным синтезом ничего не получится, останется еще один, даже более продвинутый вариант управляемой термоядерной реакции: солнце в бутылке.

ITER — синтез в магнитном поле

Во Франции испытывается термоядерный реактор другой конструкции. В Международном термоядерном экспериментальном реакторе (ITER) для удержания горячего водорода используются чрезвычайно мощные магнитные поля. Вместо того чтобы пытаться лазером мгновенно сжать крохотную мишень из богатого водородом вещества, ITER медленно сжимает газообразный водород при помощи магнитного поля. Внешне реактор очень напоминает гигантский пустотелый стальной бублик, дырку которого со всех сторон окружают витки магнитной катушки. Магнитное поле удерживает газообразный водород внутри бубликообразной камеры. Затем газ нагревают, пропуская через него электрический ток. Одновременное пропускание через газ электрического тока и сжатие его при помощи магнитного поля разогревает водород до температуры во много миллионов градусов.

Идея термоядерного синтеза в «магнитной бутылке» не нова, она зародилась еще в 1950-е гг.* Но почему реальное

* Авторами ее являются советские ученые О.А. Лаврентьев, А.Д. Сахаров

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

применение этой технологии стало возможно только сейчас? Почему до сих пор не создано коммерческих термоядерных реакторов по этому принципу?

Проблема в том, что магнитное поле требует чрезвычайно точной и тонкой настройки, иначе опять-таки не удастся достичь ровного сжатия газа — он вырвется из магнитной ловушки или будет неравномерным по плотности. Представьте, что вы пытаетесь сжать в руках надутый воздушный шарик. Вы увидите, что шарик все время норовит вспучиться у вас между руками и что сжать его равномерно практически невозможно. Основная проблема здесь — нестабильность — относится к области скорее техники, чем физики.

Вообще, проблемы с термоядерным синтезом сперва выглядят странно — ведь звезды легко сжимают водород, об этом ясно свидетельствуют триллионы звезд нашей Вселенной. Кажется, что природа зажигает звезды в небесах без всяких усилий, так почему мы не можем сделать это на Земле? Ответ заключается в простой и понятной, но притом фундаментальной разнице между гравитацией и электромагнетизмом.

Гравитация, как показал Ньютон, только притягивает. Поэтому в звезде водород под действием этой силы равномерно сжимается и принимает форму сферы. (Именно поэтому мы видим вокруг только круглые звезды и планеты, а не кубические и не пирамидальные.) А вот электрический заряд бывает двух типов: положительный и отрицательный. Если собрать в кучку отрицательные заряды, они оттолкнутся друг от друга и разлетятся в разные стороны. Но если свести вместе положительный и отрицательный заряды, получим так называемый «диполь», электрическое поле которого имеет сложную форму, а рисунок силовых линий напоминает паутину. Магнитные поля тоже имеют дипольную структуру; поэтому равномерно сжимать горячий газ — чрезвычайно сложная задача. Строго говоря, только

и И.Е. Тамм, а первая экспериментальная установка этого типа была построена в 1955 г. — *Прим. пер.*

БУДУЩЕЕ ЭНЕРГИИ

суперкомпьютер способен построить карту магнитного и электрического полей, возникающих вокруг какой-нибудь несложной конфигурации электронов.

Суть вот в чем. Гравитация работает только на притяжение и может сжать газ в сферу очень равномерно. Поэтому звезды возникают сами по себе. Но электромагнетизм может работать как на притяжение, так и на отталкивание, поэтому газы при сжатии выпучиваются и образуют сложные конфигурации, делая управляемый ядерный синтез необычайно сложной задачей. Именно эта фундаментальная проблема полвека сдерживала ученых.

Но теперь ситуация изменилась. Физики утверждают, что в проекте ITER решена проблема стабильности при магнитном удержании плазмы.

ITER — один из крупнейших международных научных проектов в истории человечества. Сердце машины — металлическая камера в форме бублика весом в 23 000 т (т. е. намного тяжелее Эйфелевой башни, которая весит всего 7300 т).

Детали устройства настолько тяжелы, что для их перевозки пришлось специально усиливать некоторые дороги. К месту строительства части реактора, самая тяжелая из которых весит 900 т, а самая высокая достигает высоты четырехэтажного дома, будет доставлять колонна специальных транспортных машин. Девятнадцатизэтажное здание ITER будет стоять на гигантской платформе размером с 60 футбольных полей. Проектная стоимость реактора составляет 10 млрд евро, а финансирование возьмут на себя семь государств-участников (Европейский союз, США, Китай, Индия, Япония, Корея и Россия).

Когда реактор будет наконец запущен, он будет нагревать водородную плазму до температуры в 150 млн градусов, что намного превосходит 15 млн градусов в центре Солнца. Если все пойдет хорошо, он будет вырабатывать 500 МВт, т. е. в 10 раз больше, чем потреблять. (Нынешний рекорд для термоядерной энергии — 16 МВт, которые генерирует европейский реактор

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Joint European Torus в Калэмском научном центре в графстве Оксфордшир, Великобритания). После некоторых задержек выход ITER «в ноль» по балансу мощности назначен на 2019 г.

ITER, как и остальные действующие и строящиеся термоядерные реакторы, — все еще научный проект. Он не предназна-

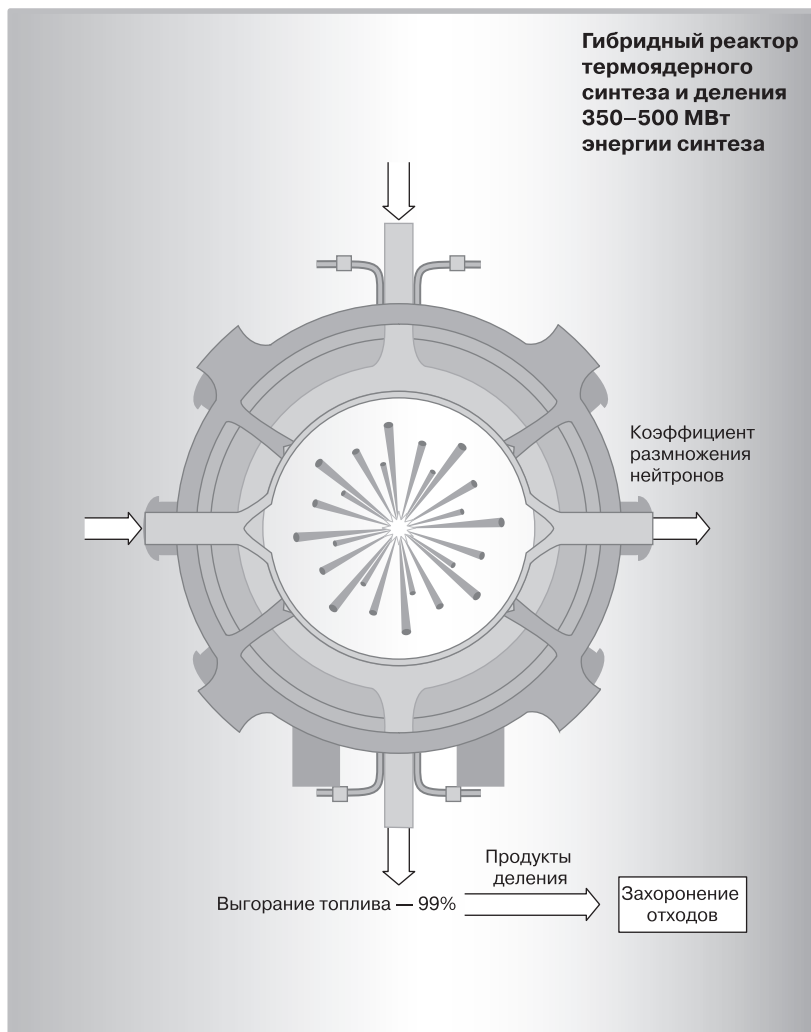
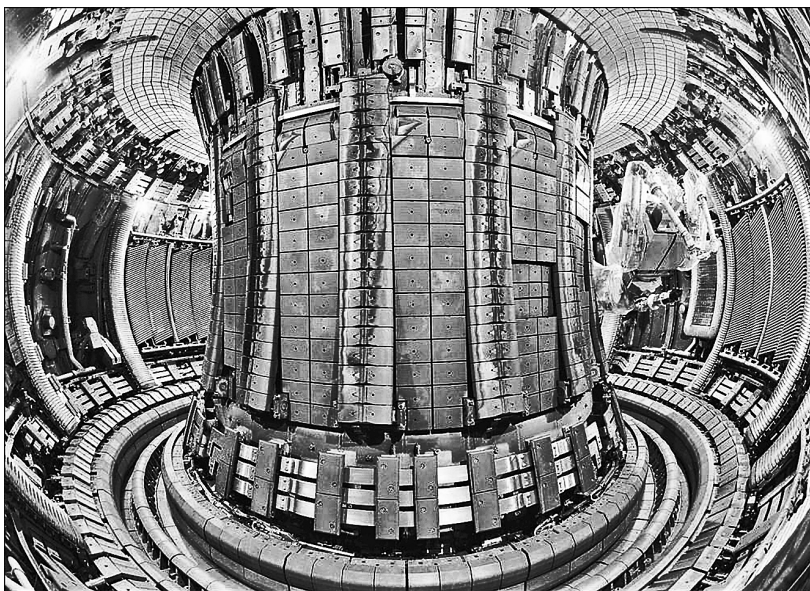


Рисунок Джеффри Уорда (Jeffrey L. Ward)

БУДУЩЕЕ ЭНЕРГИИ

чен для выработки электроэнергии. Однако физики уже сегодня готовят базу для следующего шага — коммерческого производства термоядерной энергии. Фаррох Наджмабади, руководитель рабочей группы по анализу различных проектов термоядерных электростанций, предлагает проект ARIES-AT — токамак размером меньше европейского ITER, который, по расчетам, должен производить 1 ГВт по цене около 5 центов за киловатт-час, что сделает его конкурентоспособным по отношению к электростанциям на ископаемом топливе. Но даже Наджмабади, большой оптимист во всем, что связано с термоядерным синтезом, признает, что всерьез выйти на рынок термоядерная энергия сможет не раньше середины века.



AFP/ Getty Images

Два типа термоядерных реакторов. На рисунке слева лазеры сжимают мишень из богатых водородом материалов, справа магнитные поля сжимают водородосодержащий газ. К середине века мир, возможно, будет добывать энергию из процесса термоядерного синтеза

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Еще один коммерческий проект — термоядерный реактор DEMO. Если ITER, по проекту, должен будет производить 500 МВт в течение не менее 500 с., то DEMO проектируется так, чтобы генерировать энергию непрерывно. Кроме того, в DEMO должен присутствовать один дополнительный элемент, которого нет в ITER. Дело в том, что при слиянии двух ядер водорода возникает лишний нейтрон, который затем быстро вылетает из камеры реактора. Но можно окружить камеру специальным покрытием, известным как бланкет, предназначенным исключительно для того, чтобы поглотить энергию этого нейтрона. Поглощая нейтроны, бланкет нагревается. Вода в трубах, проходящих внутри его, нагревается и закипает. Образовавшийся пар направляют в турбину, которая, в свою очередь, вращает электрогенератор.

Если все пойдет как надо, реактор DEMO будет запущен в 2033 г. Планируется, что по размерам он будет на 15% крупнее ITER, а энергии будет вырабатывать в 25 раз больше, чем потреблять. По проекту DEMO будет производить 2 ГВт энергии, что сделает его сравнимым с традиционными электростанциями. Если проект DEMO будет реализован успешно, начнется стремительное внедрение отработанной технологии.

Однако пока неясностей хватает. Проблема финансирования строительства ITER уже решена, но DEMO находится еще на стадии планирования, а значит, задержки неизбежны.

Специалисты по термоядерному синтезу уверены, что решающие ступени на пути к управляемому термояду уже пройдены. После десятков лет неоправданного оптимизма и неудач они различают впереди контуры будущих промышленных реакторов. В настоящий момент имеется не одна, а целых две разные конструкции (NIF и ITER), которые могут со временем принести энергию ядерного синтеза в каждый дом. Но пока ни тот ни другой проекты не доведены до уровня экономической целесообразности, остается место для самых разных неожиданностей, таких как холодный синтез или пузырьковый синтез.

Настольные установки для ядерного синтеза

Ставки в этой игре настолько высоки, что нельзя упускать из виду вероятности решения проблемы с совершенно иной, неожиданной стороны. Механизм ядерного синтеза хорошо известен, и существуют научные идеи, которые совершенно не укладываются в общее русло гигантских научных проектов с несметным финансированием и тем не менее имеют смысл. Некоторые из этих странных идей могут когда-нибудь принести плоды в виде настольных установок холодного ядерного синтеза.

В финальной сцене фильма «Назад в будущее» мы видим, как безумный ученый Док Браун заправляет свою машину времени — автомобиль «Делориан». Вместо того чтобы залить в бак бензин, он роется в мусорных ящиках в поисках банановых шкурочек и другого мусора, а затем загружает все это в маленький контейнер под названием мистер Фьюжн (т. е. мистер Синтез).

Возможно ли, что в результате какого-нибудь неожиданного научного открытия всего через сотню лет громадные установки размером с многоэтажный дом съежатся до размера кофемашин, как в фильме?

Один из серьезных вариантов реализации холодного синтеза носит название сонолюминесценция. Дело в том, что схлопывание пузырьков газа в жидкости приводит к возникновению чрезвычайно высоких температур. Иногда такое явление называют акустическим, или пузырьковым, синтезом. Вообще, этот любопытный эффект известен давно; еще в 1934 г. ученые Кёльнского университета экспериментировали с ультразвуком и фотопленками, надеясь ускорить процесс их проявления, и обратили внимание на крохотные точки на пленке. Точки фиксировали вспышки света, возникавшие в кавитационных пузырьках, которые ультразвук создавал в жидкости. Позже нацисты заметили, что пузыри, уходящие от винтов, часто светятся, указывая на то, что внутри их почему-то возникают высокие температуры.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Позже было установлено, что пузырьки ярко светились потому, что схлопывание происходило равномерно, и воздух внутри пузырьков, быстро сжимаясь, нагревался до необычайно высоких температур. Горячему синтезу, как мы уже видели, очень мешает недостаточно хорошая синхронизация и фокусировка лазерных лучей на мишени или неравномерное сжатие газа. А при схлопывании пузырька молекулы движутся так быстро, что давление воздуха внутри пузырька быстро выравнивается вдоль его стенки. В принципе, если схлопывание происходит в таких идеальных условиях, нельзя ли получить внутри пузырька достаточные условия для ядерного синтеза?

В экспериментах по сонолюминесценции ученым удалось получить температуры в десятки тысяч градусов. Если использовать инертные газы, можно существенно увеличить яркость света, излучаемого из пузырьков. Однако пока непонятно, может ли в этих условиях быть достигнута температура, достаточно высокая для ядерного синтеза. Масла в огонь подлила статья Рузи Талейархана (Rusi Taleyarkhan), работавшего прежде в Национальной лаборатории Окридж, который заявил в 2002 г., что получил реакцию ядерного синтеза на своей ультразвуковой установке. Он утверждал, что зарегистрировал в ходе эксперимента нейтроны — верный признак ядерного синтеза. Однако за несколько лет другим исследователям не удалось повторить его работу, поэтому результат Талейархана на данный момент считается недостоверным.

Еще одна темная лошадка — установка Фило Фарнсуорта (Philo Farnsworth), непризнанного соизобретателя телевидения. Еще ребенком Фарнсуорт придумал телевизор, наблюдая, как фермер распахивает свое поле, ряд за рядом, из стороны в сторону. В возрасте 14 лет он даже зарисовал детали своего изобретения — и он же первым воплотил идею в полностью электронное устройство, способное выводить на экран движущееся изображение. К несчастью, Фарнсуорту не довелось насладиться плодами своего эпохального изобретения, все его претензии

БУДУЩЕЕ ЭНЕРГИИ

потонули в бесконечных путаных патентных тяжбах с корпорацией RCA. Юридические баталии буквально свели изобретателя с ума, и кончилось тем, что он добровольно лег на лечение в психиатрическую больницу. Его новаторские работы в области телевидения в значительной степени остались незамеченными.

Много позже Фарнсуорт переключил свое внимание на фьюзор — небольшое настольное устройство, способное генерировать нейтроны путем ядерного синтеза. Прибор состоит из двух больших сфер из проволочной сетки, одна из которых располагается внутри другой. Внешняя сфера заряжена положительно, внутренняя — отрицательно, так что вводимые внутрь протоны отталкиваются от внешней сетки и притягиваются к внутренней. Затем протоны бомбардируют богатую водородом мишень в центре сфер, порождая реакцию синтеза и выброс нейтронов.

Конструкция фьюзора настолько проста, что даже старшекласснику под силу сделать то, чего не смогли добиться Рихтер, Понс и Флейшманн: получить поток нейтронов в результате ядерного синтеза. Однако маловероятно, что при помощи такого устройства можно будет когда-нибудь получать энергию. Число ускоряемых в нем протонов чрезвычайно мало, так что и полученная энергия будет минимальной.

Вообще говоря, реакцию ядерного синтеза можно получить на небольшой установке с использованием стандартного ускорителя атомов или частиц. Ускоритель атомов — более сложное устройство, чем фьюзор, но с его помощью тоже можно разгонять протоны и направлять их в богатую водородом мишень, вызывая реакцию синтеза. Но опять же число протонов при этом совсем невелико, и практического выхода энергии добиться невозможно. Вывод прост: при помощи фьюзора или атомного ускорителя можно провести реакцию ядерного синтеза, но эти устройства слишком неэффективны, чтобы служить источником дешевой энергии.

Но вспомним: ставки в игре невероятно высоки. Несомненно, у каждого предприимчивого ученого или инженера будет

шанс превратить собранное в подвале на коленке устройство в очередное мегаизобретение.

ДАЛЕКОЕ БУДУЩЕЕ (2070–2100 гг.)

Эра магнетизма

Предыдущее столетие можно по праву назвать веком электричества. Электронами несложно манипулировать, поэтому именно электричество в первую очередь стало почвой для создания новых технологий. Век электричества привел к появлению радио, телевидения, компьютеров, лазеров, магнитно-резонансной томографии и т. п. В наступившем веке ученым еще предстоит найти свою новую святыню, но она непременно появится: речь идет о сверхпроводимости при комнатной температуре. Это открытие ознаменует начало совершенно новой эры, эры магнетизма.

Представьте себе магнитный автомобиль, парящий над дорогой и преодолевающий за час несколько сотен километров, причем почти не расходуя топлива. Представьте поезда на магнитной подушке и даже людей, путешествующих по воздуху, парящих на магнитной «подвеске».

Мы часто забываем, что бóльшая часть бензина в автомобиле идет на преодоление силы трения. В принципе, от Сан-Франциско до Нью-Йорка можно было бы доехать, почти не затрачивая энергии. В реальности вам придется заплатить за бензин не одну сотню долларов, потому что автомобиль должен преодолевать трение колес относительно дорожного покрытия и сопротивление воздуха. Если бы всю дорогу можно было покрыть ровным слоем льда и скользить по нему, путешествие обошлось бы вам гораздо дешевле. Точно так же космические зонды могут улететь за Плутон, израсходовав по дороге всего несколько десятков литров топлива, потому что лететь им приходится сквозь космический вакуум. Магнитный автомобиль будет висеть над землей на магнитной подвеске; стоит дунуть — и он начнет двигаться.

БУДУЩЕЕ ЭНЕРГИИ

Ключ ко всем этим технологиям — сверхпроводники. Еще в 1911 г. стало известно, что ртуть при охлаждении до четырех градусов по шкале Кельвина (т. е. до четырех градусов выше абсолютного нуля) полностью теряет электрическое сопротивление. Это означает, что на сверхпроводящих проводниках вообще не теряется энергия. (В нормальных условиях электроны при движении по проводнику теряют энергию, сталкиваясь с атомами. Но при температурах, близких к абсолютному нулю, атомы почти неподвижны, так что электроны проскальзывают между ними без всяких потерь энергии.)

Сверхпроводники обладают странными и чудесными свойствами, но имеют один серьезный недостаток: их надо постоянно охлаждать почти до абсолютного нуля жидким водородом, а это очень дорогое удовольствие.

Поэтому физики испытали настоящий шок, когда в 1986 г. было объявлено об открытии нового класса полупроводников, не нуждающихся в охлаждении до таких безумно низких температур. В отличие от уже известных сверхпроводящих веществ, таких как ртуть или свинец, новые сверхпроводники были керамическими (а керамика никогда не считалась серьезным кандидатом в сверхпроводники!) и обретали свойство сверхпроводимости уже при температуре 92 кельвина ($-181\text{ }^{\circ}\text{C}$). Прежде считалось, что сверхпроводимость при такой температуре теоретически невозможна*.

На текущий момент мировой рекорд для керамических сверхпроводников составляет 138 К. Это очень важно, так как жидкий азот (который стоит не дороже молока) образуется при 77 К и, следовательно, с его помощью можно эту керамику поддерживать в сверхпроводящем состоянии. Одного этого факта оказалось достаточно, чтобы резко снизить стоимость

* В начале 1986 г. Георг Беднорц и Карл Мюллер нашли сверхпроводящую керамику с температурой перехода 35 К — на 12 К выше, чем у лучшего из известных до этого соединений. В 1987 г. две группы американских исследователей сумели сделать еще более мощный рывок — до отметки 92 К. — *Прим. пер.*

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

сверхпроводников. Так что высокотемпературная сверхпроводимость — очень практичное открытие.

Однако, по правде говоря, керамические сверхпроводники лишь раздражили аппетиты физиков. Ведь пока сделан гигантский, но недостаточный шаг в правильном направлении. Во-первых, несмотря на дешевизну жидкого азота, использовать его без какого-либо холодильного оборудования вряд ли возможно. Во-вторых, из керамики трудно делать провода. В-третьих, физики до сих пор не до конца понимают природу этой керамики и не могут с уверенностью сказать, почему в ней возникает сверхпроводимость. Квантовые уравнения керамических сверхпроводников слишком сложны, и решить их в настоящее время не представляется возможным, поэтому никто не знает наверняка, как они работают. Физики в недоумении. Ученого, который сможет объяснить теоретически природу высокотемпературной сверхпроводимости, ждет Нобелевская премия.

С другой стороны, каждый физик прекрасно понимает, какое громадное значение имела бы сверхпроводимость при комнатной температуре. Открытие такого явления стало бы толчком к новой промышленной революции. Ведь для сверхпроводников при комнатной температуре не нужно никакое холодильное оборудование, так что они стали бы источником постоянного магнитного поля невероятной мощности.

Если по медной проволочной рамке течет ток, его энергия рассеивается за долю секунды из-за сопротивления проволоки. Однако эксперименты показали, что электричество в сверхпроводящей рамке может течь без подпитки энергией долгие годы. Экспериментальные данные свидетельствуют, что время жизни тока в сверхпроводящем кольце может достигать 100 000 лет. Некоторые теории даже утверждают, что максимальное время жизни электрического тока в сверхпроводнике ограничивается лишь временем жизни известной нам Вселенной.

БУДУЩЕЕ ЭНЕРГИИ

В самом худшем случае «комнатные» сверхпроводники могли бы резко уменьшить потери электричества в высоковольтных линиях и снизить таким образом стоимость электричества. Известно, что электростанции всегда строятся вблизи крупных городов; причина, в частности, в том, что в линиях электропередачи может теряться до 30% вырабатываемой энергии. Именно поэтому опасные атомные станции приходится строить рядом с крупными городами, а ветряные электростанции невозможно строить там, где больше всего дует ветер.

Свыше 30% электроэнергии, производимой электростанцией, расходуется при передаче. Провода, обладающие сверхпроводящими свойствами при комнатной температуре, могли бы полностью изменить картину. Уменьшение потерь снизило бы стоимость электричества, серьезно уменьшило загрязнение окружающей среды и опасность глобального потепления. Раз мировое производство углекислого газа определяется уровнем энергопотребления, а большая часть энергии расходуется на преодоление трения, то наступление эры магнетизма могло бы навсегда снизить и энергопотребление, и выработку углекислого газа.

Магнитные автомобили и поезда

Без всяких дополнительных затрат энергии сверхпроводники при комнатной температуре дадут человечеству мощные супермагниты, способные удерживать в воздухе автомобили и даже поезда.

Простую демонстрацию этого эффекта можно провести в любой лаборатории. Я и сам не раз проводил ее в передачах BBC-TV и канала Science. Заказать небольшой кусочек керамического высокотемпературного полупроводника можно в компании, торгующей научным и учебным оборудованием. Это будет серый кусочек твердой керамики сантиметра 3 в поперечнике. Затем можно купить немного жидкого азота. Поместите керамику

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

ческую пластинку в пластиковую тарелку и осторожно залейте жидким азотом. При соприкосновении с керамикой азот вскипит. Дождитесь, чтобы кипение прекратилось, а затем положите на сверхпроводник небольшой магнитик. Магнит волшебным образом зависнет в воздухе. Если осторожно подтолкнуть его пальцем, он начнет вращаться. Не исключено, что в этой небольшой тарелке — будущее мирового транспорта.

Причина, по которой магнит зависает в воздухе, проста. Магнитные силовые линии не могут войти в сверхпроводник. Это явление называется эффектом Мейснера. (Когда к сверхпроводнику прикладывают магнитное поле, на его поверхности возникает кольцевой ток, компенсирующий его, так что магнитное поле полностью вытесняется из объема сверхпроводника.) Вы помещаете магнит на керамический сверхпроводник, и его силовые линии сминаются, так как проникнуть в сверхпроводник они не в состоянии. Возникает «подушка» из сжатых вместе линий магнитного поля, которая отталкивает магнит от керамики и заставляет его плавать в воздухе.

Открытие сверхпроводимости при комнатной температуре, помимо всего прочего, может послужить началом эры супермагнитов. Мы уже видели, что аппараты для магнитно-резонансной томографии чрезвычайно полезны, но нуждаются для работы в мощных магнитных полях. «Комнатные» сверхпроводники дадут возможность ученым дешево и просто создавать магнитные поля невероятной мощности. Понятно, что это позволит миниатюризировать аппараты для МРТ. Уже сегодня можно с использованием неоднородных магнитных полей создавать МРТ-аппараты размером с небольшой чемодан. Если же в распоряжении ученых появятся сверхпроводники при комнатной температуре, МРТ-аппарат, возможно, удастся уменьшить до размера пуговицы.

В третьей части фильма «Назад в будущее» Майкл Фокс (Michael J. Fox) снят на «леталке» — доске вроде скейтборда, способной летать по воздуху. После премьеры фильма на ма-

газины обрушился настоящий шквал звонков от подростков, мечтавших приобрести такую летающую доску. К сожалению, «леталок» пока не существует, но после открытия сверхпроводников при комнатной температуре они, возможно, появятся.

Поезда и автомобили на магнитной подвеске

В первую очередь дешевые и удобные сверхпроводники найдут себе применение на транспорте, где неизбежна настоящая революция; появятся автомобили и поезда, которые будут парить над поверхностью, а значит, двигаться без всякого трения.

Представьте себе поездку в машине, сделанной с применением сверхпроводников при комнатной температуре. Дороги тогда будут покрывать не асфальтом, а сверхпроводником. В машине будет либо постоянный магнит, либо собственный сверхпроводник, генерирующий магнитное поле. Машина будет парить над дорогой. Для того чтобы начать движение, ей будет достаточно даже силы сжатого воздуха. Раз набрав скорость, она (если дорога горизонтальна) будет скользить вперед почти бесконечно. Электрический двигатель или струя сжатого воздуха будет работать только на преодоление сопротивления воздуха — и это все!

Даже теперь, когда ученым неизвестны сверхпроводники при комнатной температуре, в некоторых странах действуют железные дороги для поездов на магнитной подвеске, парящих над рельсами. Здесь левитация основана на том, что одинаковые (к примеру, северные) полюса магнитов отталкиваются друг от друга. Магниты в рельсах и в днище поезда организованы таким образом, что позволяют поезду парить над самой поверхностью рельсов.

Лидерами в этом направлении являются Германия, Япония и Китай. Поезда на магнитной подвеске успели уже поставить несколько мировых рекордов. Первым коммерческим поез-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

дом на магнитной подвеске стал довольно медленный челночный поезд, соединивший международный аэропорт и железнодорожный вокзал в Бирмингеме; маршрут начал действовать в 1984 г. Самая высокая скорость поезда на магнитной подвеске, составляющая 581 км/ч, зарегистрирована в Японии на поезде MLX01 в 2003 г. (Реактивные самолеты летают быстрее отчасти потому, что на больших высотах сопротивление воздуха меньше. Поскольку поезд на магнитной подвеске парит в воздухе, энергию он тратит в основном на преодоление трения о воздух. Если бы такой поезд ездил в вакууме, он мог бы развивать скорость до 6500 км/ч.) Но такие поезда обходятся очень дорого и вряд ли найдут широкое распространение в мире. Сверхпроводники при комнатной температуре могли бы полностью изменить ситуацию. В частности, они могли бы оживить систему железных дорог в США и уменьшить таким образом эмиссию парниковых газов от двигателей реактивных самолетов. Согласно оценкам, самолетные двигатели ответственны примерно за 2% парниковых газов, и поезда на магнитной подвеске могли бы серьезно уменьшить эту долю.

Энергия с небес

К концу текущего века появится, вероятно, и еще один источник энергии — энергия космических солнечных электростанций. Ее добыча подразумевает отправку в космос и выведение на околоземную орбиту сотен спутников, которые будут поглощать солнечное излучение и передавать энергию на Землю в виде микроволнового излучения. Спутники будут базироваться на расстоянии 36 000 км над земной поверхностью, на геостационарной орбите (это означает, что они будут делать один оборот вокруг Земли ровно за сутки и, соответственно, будут все время висеть над одной и той же точкой поверхности). Поскольку известно, что до поверхности Земли доходит лишь восьмая часть солнечной энергии, такой подход представляется вполне реальным и даже выгодным.

БУДУЩЕЕ ЭНЕРГИИ

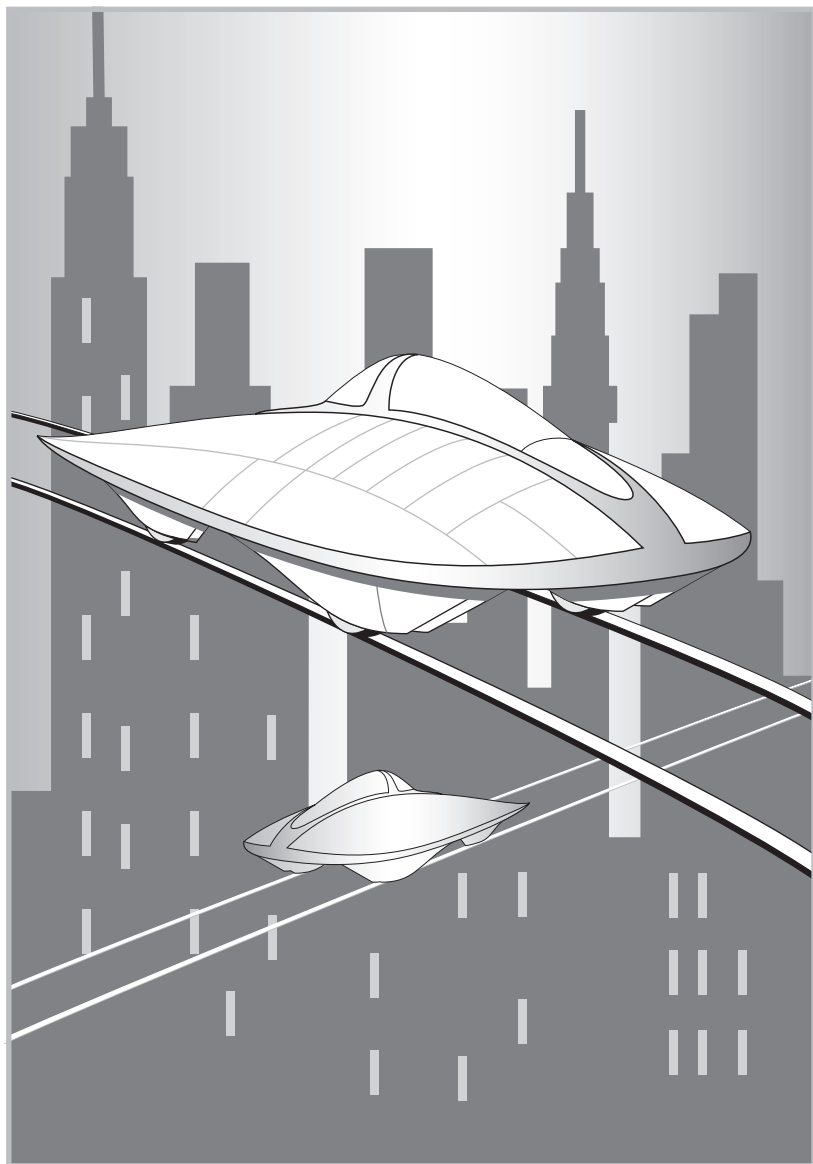
В настоящее время главным камнем преткновения в деле добычи космической энергии является стоимость проекта и, главное, стоимость запуска всех этих космических коллекторов. Ничто в законах природы не запрещает добывать энергию непосредственно от Солнца, но для реализации масштабного проекта такого рода потребуются решить огромное множество технических и экономических проблем. Но если к концу века появятся новые дешевые способы космических путешествий, его вполне можно будет осуществить, как мы убедимся в главе 6.

Первое серьезное предложение о добыче космической солнечной энергии прозвучало в 1968 г., когда Питер Глейзер (Peter Glaser), президент Международного общества солнечной энергии, предложил вывести на орбиту спутники размером с современный город, которые затем передавали бы энергию на Землю энергетическим лучом. В 1979 г. ученые NASA проанализировали его предложение и выяснили, что стоит такой проект будет несколько сотен миллиардов долларов. Естественно, проект был отвергнут.

Однако в космической отрасли постоянно происходят подвижки, появляются новые технологии, поэтому с 1995 по 2003 г. NASA продолжало финансировать небольшие исследовательские проекты по космической энергетике. Ее сторонники утверждают, что реализация проекта — всего лишь вопрос времени. «Космическая энергетика предлагает поистине надежный, глобальный и не загрязняющий окружающую среду источник электричества», — говорит Мартин Хофферт (Martin Hoffert), физик, работавший прежде в Нью-Йоркском университете.

Такой амбициозный проект неизбежно столкнется с серьезными проблемами, как реальными, так и воображаемыми. Некоторые испытывают перед ним страх, потому что энергетический луч, по которому энергия будет передаваться из космоса на Землю, может быть случайно направлен в населенную местность, что вызовет громадные жертвы. На самом деле подобные

ФИЗИКА БУДУЩЕГО



Рисунки Джеффри Уорда (Jeffrey L. Ward)

Возможно, сверхпроводники при комнатной температуре когда-нибудь обеспечат нас летающими машинами и поездами. Те и другие будут парить или над рельсами, или над сверхпроводящим дорожным покрытием без всякого трения

БУДУЩЕЕ ЭНЕРГИИ

страхи сильно преувеличены. Если рассчитать реальное излучение, которое будет приходить на землю из космоса, оно окажется слишком слабым и не опасным для здоровья. Так что образ взбесившегося спутника, посылающего с орбиты на Землю лучи смерти и поджаривающего целые города, пригоден только для голливудских кошмаров.

В 2009 г. писатель-фантаст Бен Бова изложил в газете *Washington Post* соблазнительную экономику солнечного энергетического спутника. Он оценил, что каждый спутник будет производить 5–10 ГВт энергии (это намного больше, чем производит традиционная угольная станция) по цене 8–10 центов за кВт·ч, что сделает эту энергию конкурентоспособной. Каждый спутник будет огромен, около 1,5 км в поперечнике, и обойдется примерно в миллиард долларов (приблизительно во столько обходится средняя атомная станция).

Чтобы запустить эту технологию, он предложил нынешней администрации инициировать демонстрационный проект и запустить спутник, который будет генерировать 10–100 МВт. Гипотетически, если начать реализацию проекта не мешкая, такой спутник мог бы быть запущен к концу второго президентского срока президента Обамы.

Будто отзываясь на комментарии американского фантаста, японское правительство озвучило крупную инициативу. В 2009 г. Министерство торговли объявило о планах по изучению реализуемости проекта космических электростанций. *Mitsubishi Electric* и другие японские компании совместно профинансируют программу стоимостью 10 млрд долларов; возможно, в космос будет запущена солнечная электростанция мощностью 1 ГВт — громадный спутник площадью в несколько квадратных километров, полностью облицованный солнечными батареями.

«Похоже на фантастический мультяш, но производство солнечной энергии в космосе через 100 лет, когда ископаемое топливо закончится, может стать значительным альтернативным источником энергии», — говорит Кенсукэ Канэкиё (*Kensuke*

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Капекію) из Института экономики энергетики — государственной исследовательской организации.

Учитывая размах этого амбициозного проекта, японское правительство пока ведет себя очень осторожно. Следующие четыре года исследовательская группа будет изучать, насколько этот проект реализуем с научной и экономической точек зрения. Если эта группа даст добро, Министерство торговли и Аэрокосмическое исследовательское агентство Японии планируют запустить в 2015 г. небольшой спутник для испытания технологий передачи энергии из космоса на Землю.

Вероятно, основное препятствие здесь будет не научным, а экономическим. Хироси Ёсида (Hiroshi Yoshida) из токийской компании Excalibur KK, занимающейся космическим консалтингом, предупредил: «Расходы необходимо снизить в сто раз относительно нынешних оценок». Одна из проблем состоит в том, что расстояние до геостационарных спутников (36 000 км) очень велико, гораздо больше, чем 300–800 км до низкоорбитальных аппаратов, и потери при передаче энергии лучом на такие расстояния могут оказаться огромными*.

И все же основная проблема — стоимость запусков. Именно здесь самое узкое место, именно это тормозит все планы возвращения на Луну и полетов на Марс.

Если стоимость ракетных пусков не будет кардинально снижена, любые планы развития космической энергетики обречены на неудачу.

В том случае, если все сложится удачно, японский план может вступить в действие примерно к середине столетия. Учитывая, однако, проблему с запусками, его реализации скорее всего придется ждать до конца века, когда появятся новые поколения ракет и стоимость запусков упадет. С другой стороны, если главная проблема космической энергетики — стоимость

* Вторая проблема состоит в том, что космическая электростанция посылает на Землю энергию, которая без нее прошла бы мимо Земли, т. е. вносит свой вклад в разогрев планеты. — *Прим. пер.*

БУДУЩЕЕ ЭНЕРГИИ

ракетных запусков, то возникает следующий вопрос: можем ли мы снизить стоимость космических путешествий так, чтобы когда-нибудь достичь звезд?

6. БУДУЩЕЕ КОСМИЧЕСКИХ ПУТЕШЕСТВИЙ

К ЗВЕЗДАМ

Мы достаточно долго медлили, оставаясь на берегах космического океана.
Теперь мы наконец готовы поднять паруса и отправиться к звездам.

Карл Саган

Боги древних мифов разъезжали по небесным полям Олимпа на волшебных летающих колесницах. Боги Севера ходили по небесным морям в Асгард на быстрых северных кораблях-драконах.

Точно так же и мы — к 2100 г. человечество будет стоять на пороге новой эры космических исследований: полетов к звездам. Человек издавна мечтал о звездах; ночью эти небесные огоньки кажутся такими близкими! До сих пор добраться до них можно было только в мечтах, но к концу века именно звезды будут находиться в фокусе внимания ученых-ракетчиков.

Однако дорога к звездам будет нелегкой. Человечество подобно легендарному герою, который головой достигает облаков, а вытянутыми руками дотягивается до звезд, но ноги его по-прежнему в грязи. С одной стороны, этот век станет свидетелем новой эры роботизированного освоения космоса: мы будем посылать аппараты в космос на поиски землеподобных планет, исследовать луны Юпитера и, возможно, даже получим достоверную картину первых минут после Большого взрыва. С другой стороны, что пилотируемое освоение дальнего космоса, о котором думали многие поколения пророков и мечтателей, многим принесет разочарование.

БЛИЖАЙШЕЕ БУДУЩЕЕ (с настоящего момента до 2030 г.)

Внесолнечные планеты

Одним из самых поразительных достижений космической программы до сих пор было исследование космоса при помощи роботов, невероятно расширившее горизонты человечества.

Первой и главной целью роботизированных миссий будущего должен стать поиск в космосе землеподобных планет, пригодных для жизни, — священного грааля всей космической науки. До сих пор при помощи космических и наземных телескопов ученым удалось обнаружить в далеких звездных системах около 500 планет; теперь новые планеты находят постоянно, с интервалом в одну–две недели. Жаль только, что современные инструменты позволяют обнаруживать исключительно гигантские планеты вроде Юпитера, жизнь на которых — по крайней мере, такая, какой мы ее знаем, — невозможна.

Чтобы найти очередную планету, астрономы ищут звезду, в движении которой наблюдаются легкие колебания. Скорее всего, такая звезда представляет собой систему двух тел, вращающихся вокруг общего центра масс; одно из тел — звезда, ясно видимая в телескоп, другое — планета-гигант размером с Юпитер, свет от которой (отраженный) слабее звездного примерно в миллиард раз. Там, где местное светило и планета-гигант вращаются вокруг общего центра масс, земные телескопы различают лишь слегка колеблющуюся звезду. При помощи этого метода ученым удалось обнаружить в космосе не одну сотню газовых гигантов, но для поиска небольших планет земного типа он слишком груб.

Самая маленькая планета, которую удалось обнаружить при помощи наземных телескопов, была зарегистрирована в 2010 г.; по массе она превосходит Землю в 3–4 раза. Примечательно, что эта «сверхземля» — первая из обнаруженных планет, находящаяся в зоне жизни своей звезды, т. е. на расстоянии, которое допускает существование на ней жидкой воды.

БУДУЩЕЕ КОСМИЧЕСКИХ ПУТЕШЕСТВИЙ

Ситуация изменилась с запуском в 2009 г. американского космического телескопа Kepler, а в 2006 г. — французского аппарата COROT. Эти обсерватории занимаются поиском крохотных флуктуаций в блеске звезд, которые могут быть вызваны прохождением небольшой планеты перед диском своей звезды, — в этот момент ее свет в какой-то небольшой степени блокируется. Тщательно просканировав тысячи звезд в поисках этих крохотных изменений яркости, Kepler и COROT смогут, вероятно, обнаружить в дальнем космосе сотни землеподобных планет. Затем каждую из них можно будет проанализировать на предмет наличия там жидкой воды — пожалуй, самого ценного вещества во Вселенной. Вода — универсальный растворитель и волшебный котел, в котором, вероятно, возникла первая ДНК. Если на некоторых экзопланетах будут обнаружены океаны из жидкой воды, наши представления о жизни во Вселенной могут измениться.

Журналисты — охотники за скандалами говорят: «Следуй за деньгами», но астрономы, занимающиеся поисками внеземной жизни, скажут иначе: «Следуй за водой».

Позже Kepler будет заменен другими, более чувствительными космическими аппаратами, такими как «Искатель землеподобных планет» (TPF)*. Хотя дата запуска этого аппарата откладывалась уже несколько раз, он по-прежнему остается наилучшим кандидатом на продолжение в будущем исследований Kepler.

Предполагается, что оптика на «Искателе» будет намного лучше и искать в космосе двойников Земли ему станет проще. Во-первых, на нем будет вчетверо большее по размеру и в сто раз

* Проект TPF действительно долгое время фигурировал в перспективных планах NASA, но всегда оставался «бумажным проектом», далеким от этапа практической реализации. В проекте бюджета на 2012 финансовый год нет ни его, ни второго проекта из того же тематического направления — «Фотограф землеподобных планет» (TPI). Возможно, их наследником будет миссия New Worlds для получения изображений и спектроскопии землеподобных планет, однако о сроках ее запуска ничего сказать нельзя. — *Прим. пер.*

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

более чувствительное* зеркало, чем на Космическом телескопе имени Хаббла. Во-вторых, он будет снабжен инфракрасными датчиками, при помощи которых можно ослабить излучение звезды в миллион раз и выявить, соответственно, присутствие рядом с ней тусклой планеты. (Чтобы добиться такого эффекта, аппарат измеряет излучение звезды на двух разных длинах волн и определенным образом комбинирует их, чтобы они в точности компенсировали друг друга; таким образом можно как бы убрать с картинки лишнее изображение — звезду.)

Итак, в самом недалеком будущем у нас появится каталог из нескольких тысяч планет, из которых, возможно, несколько сотен окажутся весьма похожими на Землю по размеру и составу. Это, в свою очередь, подогреет интерес к отправке в дальний космос зондов для исследования таких планет. Множество ученых сосредоточат свои усилия на том, чтобы определить, есть ли на этих планетах океаны из жидкой воды и какое-то радиоизлучение — возможно, сигналы разумных форм жизни.

Европа — вне «зоны жизни»

Надо заметить, что и в пределах Солнечной системы имеется весьма интересный и соблазнительный объект для будущих исследований: Европа. Много десятилетий считалось, что жизнь в любой солнечной системе возможна только в так называемой «зоне жизни», т. е. на определенном расстоянии от светила, где на планетах не слишком жарко и не слишком холодно и где существуют подходящие для обитания условия. На Земле так много драгоценной жидкой воды, потому что она находится от Солнца на правильном расстоянии. На планете вроде Меркурия жидкая вода мгновенно вскипела бы, поскольку Меркурий находится слишком близко к Солнцу. На Юпитере — замерзла бы, так как он расположен слишком далеко. А поскольку первые молекулы

* В действительности речь шла не о чувствительности, а о качестве изготовления поверхности зеркала. — *Прим. пер.*

БУДУЩЕЕ КОСМИЧЕСКИХ ПУТЕШЕСТВИЙ

ДНК и белков зародились, скорее всего, именно в жидкой воде, долгое время все были уверены, что жизнь в Солнечной системе может существовать только на Земле и, возможно, еще на Марсе.

Однако астрономы ошибались. После того как мимо Юпитера и его лун пролетели два межпланетных аппарата «Вояджер», стало очевидно, что в нашей системе существует еще одно место, где могла бы с комфортом существовать жизнь: под ледяным покровом лун Юпитера. Очень быстро внимание астрономов привлекла Европа, один из четырех крупнейших спутников Юпитера, открытых в 1610 г. Галилеем. Поверхность этого спутника всегда покрыта ледяной коркой, зато под ней — жидкий океан. Океаны на Европе намного глубже земных, поэтому считается, что по суммарному объему они превосходят океаны Земли вдвое.

Ученые испытали настоящий шок, осознав, что в Солнечной системе существует еще один серьезный источник энергии, помимо Солнца. Поверхность Европы под ледяной коркой непрерывно греют приливные силы. По мере движения спутника вокруг планеты-гиганта ее притяжение сплющивает луну в разных направлениях, вызывая трение глубоко в ядре. Трение порождает тепло, которое, в свою очередь, плавит лед и обеспечивает существование стабильного океана жидкой воды.

Это открытие означает, что луны далеких от Солнца газовых гигантов могут оказаться более интересными объектами для исследования, чем сами планеты. (Вероятно, именно поэтому Джеймс Кэмерон выбрал в качестве места действия фантастического фильма «Аватар» 2009 г. спутник газового гиганта, схожего по размерам с Юпитером.) Внезапно число мест во Вселенной, потенциально подходящих для жизни, многократно умножилось.

Результатом этого замечательного открытия стал новый проект — «Миссия в систему Юпитер—Европа» (EJSM), запуск которого предварительно запланирован на 2020 г.* Пред-

* Этот проект был выбран в феврале 2009 г. для совместной реализации силами NASA и Европейского космического агентства. В начале 2011 г. американ-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

полагается, что аппарат выйдет на орбиту Европы и, возможно, приземлится на нее. Ученые, конечно, мечтают изучить Европу поподробнее и переправить на нее много сложной техники. Уже разработано немало методов поиска жизни подо льдом. Один из возможных проектов — Ice Clipper; авторы предлагают отправить к Европе орбитальный аппарат, который будет сбрасывать на лед металлические шары, а затем тщательно исследовать поднятые вверх тучи пара и обломков. Еще более амбициозный проект — запустить под лед подводную лодку-робота.

Интерес к Европе подогревается и последними открытиями на дне земных океанов. Так, до 1970-х гг. ученые в большинстве своем считали, что единственный источник жизненной энергии на Земле — Солнце. Однако в 1977 г. субмарина Alvin обнаружила свидетельства новых форм жизни, процветающих там, где никто прежде не подозревал об их существовании. Исследуя Галапагосский рифт, субмарина обнаружила на дне гигантских сидячих червей, мидий, ракообразных, двустворчатых моллюсков и другие формы жизни, использующие в качестве источника энергии вулканическое тепло. Везде, где есть энергия, может быть и жизнь; а подводные вулканические выходы, которые называют еще «черными курильщиками», представляют собой новый источник энергии в чернильной темноте океанских глубин. Более того, некоторые ученые предполагают, что первая ДНК образовалась не в каком-нибудь приливном водоеме на берегу тропического океана, а глубоко в море возле черного курильщика. Некоторые из самых примитивных (и, возможно, самых древних) форм ДНК найдены именно там — на дне океана. Может быть, и на Европе возле вулканических выходов на дне глобального океана могло зародиться что-нибудь вроде ДНК.

Пока мы можем лишь гадать о том, какие формы жизни могли сформироваться подо льдами Европы. Если жизнь там

цы вышли из проекта из-за нехватки средств, а Европа отложила свое решение об участии в нем до февраля 2012 г. Упомянутый далее проект Ice Clipper предлагался на конкурс NASA еще в 1997 г. и не был принят. — *Прим. пер.*

БУДУЩЕЕ КОСМИЧЕСКИХ ПУТЕШЕСТВИЙ

все же существует, то высшими формами ее, вероятно, должны являться водные животные, не знающие света и ориентирующиеся при помощи сонара; их вселенная ограничена ледяным «небом».

LISA — что было до Большого взрыва?

А вот еще один космический проект, который мог бы перевернуть наши представления об окружающем мире. Это лазерная интерферометрическая космическая антенна (LISA) и то, что придет вслед за ней. Не исключено, что аппараты, подобные этому, смогут сделать невозможное: выяснить, что происходило до Большого взрыва.

Астрономы довольно давно сумели измерить скорость, с которой от нас отдаляются далекие галактики. (Измеряется эта величина по доплеровскому сдвигу, т. е. по изменению длины световых волн от объектов, которые быстро приближаются к нам или быстро от нас удаляются.) Таким образом, нам известна нынешняя скорость расширения Вселенной. Если же «отмотать пленку назад», можно вычислить, когда именно оно началось. Именно таким способом ученые определили, что Большой взрыв имел место 13,7 млрд лет назад. Проблема, однако, в том, что самый продвинутый нынешний аппарат — WMAP (зонд микроволновой анизотропии имени Уилкинсона) — способен заглянуть в прошлое и посмотреть, что творилось во Вселенной примерно через 400 000 лет после взрыва. О том же, почему произошел Большой взрыв, что его вызвало и что именно взорвалось, не может пока сказать никто.

Именно поэтому проект LISA вызывает такой интерес. Предполагается, что эта антенна будет регистрировать совершенно новый тип излучения: гравитационные волны, рожденные непосредственно в момент Большого взрыва.

Каждый новый вид излучения, который человечеству удалось превратить в инструмент познания, менял не только

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

физические формулы, но и наш взгляд на мир. Когда Галилей впервые использовал оптический телескоп для изучения звезд и планет и составления карты звездного неба, родилась современная астрономия. Когда вскоре после Второй мировой войны появились радиотелескопы, перед нами возникла Вселенная взрывающихся звезд и черных дыр. Теперь же пришло время третьего поколения телескопов; вполне возможно, что эти аппараты, способные регистрировать гравитационные волны, раскроют перед нами еще более захватывающие перспективы и мы увидим мир сталкивающихся черных дыр, высших измерений и даже Мультивселенной.

Предварительно запуск этого космического аппарата запланирован на период с 2018 по 2020 г.* Согласно проекту LISA будет состоять из трех аппаратов, соединенных лазерными лучами и образующих в космосе гигантский треугольник со стороной около 5 млн км. Таким образом, это будет самый крупный прибор, когда-либо выведенный в космос. Аппараты системы LISA будут слегка покачиваться на гравитационных волнах, до сих пор блуждающих по Вселенной после Большого взрыва. Лазерные лучи, соединяющие аппараты, почувствуют любое возмущение, а специальные датчики позволят зарегистрировать частоту и другие характеристики этого возмущения. Если все получится, ученые смогут увидеть мир таким, каким он был сразу после Большого взрыва, — скажем, через одну триллионную долю секунды после него. (По Эйнштейну, пространство–время может растягиваться и изгибаться и напоминает по своим свойствам натянутое полотно. Любое серьезное возмущение во Вселенной, такое как столкновение черных дыр или Большой взрыв, рождает на этом полотне рябь, которая разбегается в разные стороны. Эта рябь, или гравитационные

* Увы, и в этом текст устарел. Как и EISM, этот совместный проект лишился в начале 2011 г. поддержки США и находится в стадии пересмотра, претендуя на те же средства в бюджете ЕКА, что и EISM и Международная рентгеновская обсерватория IXO. Лишь один из этих трех проектов в урезанном виде может быть утвержден к реализации в 2012 г., а запуск может состояться после 2020 г. — *Прим. пер.*

БУДУЩЕЕ КОСМИЧЕСКИХ ПУТЕШЕСТВИЙ

волны, слишком малы, чтобы их можно было заметить при помощи обычных инструментов, но система LISA будет достаточно большой и чувствительной, чтобы засечь вибрации, вызванные гравитационными волнами.)

Но LISA не только сможет зарегистрировать излучение от сталкивающихся черных дыр: не исключено, что при помощи этого инструмента нам удастся заглянуть и в довзрывную эпоху, что раньше считалось принципиально невозможным.

В настоящее время существует несколько теорий о том, что представляла собой эпоха до Большого взрыва; эти теории по большей части построены на основе теории струн — моей научной специальности. В одном сценарии наша Вселенная представляет собой гигантский пузырь непонятной природы, который непрерывно расширяется. Мы живем на оболочке этого гигантского пузыря (мы приклеены к ней, как мухи к липкой бумаге). Но наша Вселенная-пузырь существует в океане других пузырей-вселенных, образующих вместе так называемую Мультивселенную — что-то вроде вселенской пены. Время от времени эти пузыри могут сталкиваться (давая нам теорию «большого плюха»), а могут делиться на более мелкие пузыри и затем снова расширяться («вечная инфляция»). Каждая из довзрывных теорий предсказывает свой вариант поведения Вселенной после Большого взрыва и свой характер гравитационных волн в ней. LISA сможет измерить гравитационное излучение, возникшее после Большого взрыва, и сравнить его с различными предсказаниями теории струн. Таким образом, вполне возможно, что этот проект поможет физикам исключить или, наоборот, подтвердить некоторые из этих теорий.

Но даже если LISA окажется недостаточно чувствительной для этой тонкой задачи, с ней, может быть, справятся детекторы следующего поколения — такие как «Наблюдатель Большого взрыва» (BBO).

Если все получится, эти космические системы помогут человечеству получить ответ на вопрос, который мучил ученых

не одно столетие: откуда возникла наша Вселенная? Так что уже в обозримом будущем возможность получить достоверные данные о Большом взрыве может стать реальностью.

Пилотируемые космические полеты

Если роботизированные космические аппараты, по всей видимости, и дальше будут открывать для нас новые горизонты космических исследований, то пилотируемым полетам предстоят трудные времена. Дело в том, что в сравнении с пилотируемыми миссиями роботы дешевы и универсальны; их можно посылать для исследования в опасные места; им не нужны дорогостоящие системы жизнеобеспечения, и самое главное — им совершенно не обязательно возвращаться.

Когда-то давно, в 1969 г., нам всем казалось, что астронавты вот-вот начнут исследовать Солнечную систему. Нил Армстронг и Базз Олдрин только что прогулялись по Луне, а люди уже мечтали о полете на Марс и дальше. Казалось, что человечество выходит на дорогу к звездам. Занималась заря новой эры!

А затем мечта рухнула.

Как написал позже фантаст Айзек Азимов, мы вышли на поле, забили гол, взяли мяч под мышку и ушли домой. Сегодня старые ракеты-носители «Сатурн» скучают в музеях или попросту гниют на свалках. Целое поколение лучших ученых-ракетчиков распустили по домам. Энергия космической гонки постепенно иссякла. Сегодня знаменитая прогулка по поверхности Луны упоминается только в пыльных исторических книгах*.

Что произошло? Много чего, в том числе война во Вьетнаме, Уотергейтский скандал и т. п. Но если посмотреть в корень и избавиться от всего временного и несущественного, выяснится, что причина на самом деле одна: деньги.

Иногда мы забываем, что космические путешествия — дело очень дорогостоящее. Выведение всего одного фунта чего

* И в некоторых из них подвергается сомнению. — *Прим. пер.*

БУДУЩЕЕ КОСМИЧЕСКИХ ПУТЕШЕСТВИЙ

угодно на околоземную орбиту стоит 10 000 долларов. Представьте себе статую Джона Гленна из чистого золота в натуральную величину — и вы получите некоторое представление о стоимости подобных проектов. Полет на Луну потребовал бы около 100 000 долларов за фунт полезного груза. А полет к Марсу обошелся бы в 1 млн долларов за фунт (приблизительно на вес бриллиантов).

Тогда, в 1960-х, вопрос цены практически не рассматривался: все покрывало общее воодушевление и нарастание космической гонки с русскими. Зрелищные достижения храбрых астронавтов скрадывали цену космических полетов, тем более что обе стороны готовы были на многое, чтобы поддержать национальную честь. Но даже сверхдержавам не под силу нести такой груз в течение многих десятилетий.

Грустно это все! Прошло уже больше 300 лет с тех пор, как сэр Исаак Ньютон впервые записал законы движения, а мы по-прежнему находимся в плену простых вычислений. Чтобы закинуть объект на околоземную орбиту, его необходимо разогнать до скорости 7,9 км/сек. Чтобы отправить объект в межпланетное путешествие и вывести за пределы действия поля тяготения Земли, надо придать ему скорость 11,2 км/с (А чтобы достичь этой волшебной цифры — 11,2 км/с, мы должны воспользоваться третьим законом динамики Ньютона: каждое действие порождает равное противодействие. Это означает, что ракета может ускоряться, выбрасывая в противоположном направлении раскаленные газы, примерно так же, как летает по комнате шарик, если надуть его и отпустить клапан.) Так что рассчитать стоимость космических путешествий по законам Ньютона совсем несложно. Не существует ни одного закона природы (ни физического, ни инженерного), который бы запрещал нам исследовать Солнечную систему; все дело в стоимости.

Но этого мало. Ракета должна нести на себе топливо, что существенно увеличивает ее нагрузку. Самолеты могут отчасти обойти эту проблему, захватывая кислород из атмосферы

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

и направляя в двигатели. Но в космосе нет воздуха, и ракета должна нести с собой весь свой кислород и водород.

Помимо того, что данный факт делает космические путешествия весьма дорогим удовольствием, он является главной причиной того, что у нас нет ракетных ранцев и летающих автомобилей. Писатели-фантасты (но не ученые) любят расписывать день, когда все мы наденем ракетные ранцы и полетим на работу — или отправимся на воскресный пикник на семейной летающей машине. Люди часто испытывают разочарование в футуристах, потому что их предсказания никогда не сбываются. (Именно поэтому вокруг так много статей и книг с циничными названиями вроде «Где мой ракетный ранец?».) Но чтобы понять причину, достаточно провести простое вычисление. Ракетные ранцы существуют; более того, нацисты даже пытались использовать их во время Второй мировой войны. Но перекись водорода, обычное в таких случаях топливо, быстро заканчивается, так что средний полет на ракетном ранце длится всего несколько минут. Точно так же летающие автомобили с вертолетными винтами сжигают жуткое количество топлива, что делает их слишком дорогими для обычного человека.

Конец лунной программы

Именно заоблачные цены на космические путешествия виной тому, что в настоящее время будущее пилотируемой космонавтики представляется настолько неопределенным. Джордж Буш, будучи президентом, в 2004 г. представил ясный, но довольно амбициозный проект космической программы. Во-первых, космический челнок Space Shuttle предполагалось отправить в отставку в 2010 г., а к 2015 г. заменить новой ракетной системой под названием Constellation («Созвездие»)*. Во-вторых,

* Строго говоря, так называлась программа NASA, призванная выполнить требования Буша, основные положения которой описаны автором ниже. — *Прим. пер.*

БУДУЩЕЕ КОСМИЧЕСКИХ ПУТЕШЕСТВИЙ

к 2020 г. предполагалось вернуться на Луну и со временем основать на спутнике нашей планеты постоянную обитаемую базу. В-третьих, все это должно было проложить дорогу к пилотируемому полету на Марс.

Однако даже за время после выдвижения плана Буша экономика космонавтики существенно изменилась, в основном из-за того, что Великая рецессия опустошила кошелек будущих космических путешествий. В докладе Комиссии Огастина, представленном в 2009 г. президенту Бараку Обаме, говорится, что при доступном уровне финансирования первоначальная программа невыполнима. В 2010 г. президент Обама осуществил соответствующие практические шаги, закрыв одновременно и программу Space Shuttle, и разработку замены для космических челноков, которая должна была подготовить почву для возвращения на Луну. В ближайшее время NASA, не имея собственных ракет для отправки наших астронавтов в космос, вынужденно будет полагаться на русских. С другой стороны, такая ситуация стимулирует усилия частных компаний по созданию ракет, необходимых для продолжения пилотируемой космической программы. NASA, отказавшись от своего славного прошлого, уже никогда не будет строить ракеты для пилотируемой программы*. Сторонники плана Обамы говорят, что он означает начало новой эры освоения космоса, где верх возьмет частная инициатива. Критики говорят, что реализация этого плана превратит NASA в «агентство без цели».

Посадка на астероид

В докладе Комиссии Огастина предлагался так называемый гибкий путь, включающий несколько достаточно скромных

* Ракеты-то как раз у США есть и их не надо придумывать с нуля: корабль «Орион» может быть запущен тяжелым вариантом — носителем Delta IV, а более легкие частные корабли — на ракетах Atlas V или Falcon-9. А вот ни одного готового пилотируемого корабля нет и в ближайшие три-четыре года не будет. — *Прим. пер.*

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

целей, не требующих безумного расхода ракетного топлива: к примеру, это путешествие к недалекому астероиду, которому случится пролететь мимо Земли, или путешествие к лунам Марса. В докладе указывалось, что астероид-цель может пока просто отсутствовать на наших картах: быть может, это неизвестное блуждающее тело, которое предстоит открыть в ближайшем будущем.

Проблема, указывалось в докладе Комиссии, состоит в том, что ракетное топливо для посадки на Луну, и особенно на Марс, а также на взлет и возвращение окажется чрезмерно дорогим. Но поскольку гравитационное поле на астероиде и спутниках Марса очень слабое, топлива потребуется во много раз меньше. В докладе Огастина упоминалась также возможность посещения точек Лагранжа, т. е. таких мест в открытом космосе, где гравитационное притяжение Земли и Луны взаимно компенсируются. (Вполне возможно, что эти точки служат космической свалкой, где скапливается с древнейших времен весь мусор, собранный Солнечной системой и попавший в окрестности Земли; астронавты могли бы найти там интересные камни, датированные временем формирования системы Земля–Луна.)

Действительно, посадка на астероид — задача недорогая, поскольку астероиды обладают чрезвычайно слабым гравитационным полем. (В этом также заключается причина того, что астероиды, как правило, не округлы, а отличаются неправильной формой. Все крупные объекты во Вселенной — звезды, планеты и спутники — круглы, потому что сила тяготения равномерно стягивает их к центру. Любая неправильность формы планеты постепенно сглаживается. Но сила тяжести на астероиде настолько слаба, что не может сжать астероид в шар.)

Одна из возможных целей такого полета — астероид Апофис, который в 2029 г. должен пройти угрожающе близко к Земле. Эта каменная глыба около 300 м в поперечнике, размером с большое футбольное поле, пройдет так близко к планете, что оставит снаружи некоторые из наших искусствен-

БУДУЩЕЕ КОСМИЧЕСКИХ ПУТЕШЕСТВИЙ

ных спутников. От взаимодействия с нашей планетой орбита астероида изменится, и если не повезет, в 2036 г. он может вновь вернуться к Земле; существует даже крошечный шанс (1 из 100 000), что он по возвращении попадет в Землю. Если бы такое действительно произошло, мощность удара равнялась бы 100 000 хиросимских бомб; при этом огненные смерчи, ударные волны и раскаленные обломки могли бы полностью опустошить территорию размером с Францию. (Для сравнения: гораздо менее крупный объект, размером, вероятно, с многоквартирный дом, упал в районе сибирской реки Подкаменная Тунгуска в 1908 г. и, взорвавшись с силой одной тысячи хиросимских бомб, повалил 2500 км² леса. Ударная волна от этого взрыва чувствовалась на расстоянии нескольких тысяч километров. Кроме того, падение породило необычное свечение неба над Азией и Европой, так что в Лондоне ночью на улице можно было читать газету.)

Визит к Апофису не окажется слишком тяжким грузом для бюджета NASA, поскольку астероид так и так должен пролететь совсем рядом*, но посадка на него может оказаться проблемой. Из-за слабого гравитационного поля астероида корабль должен будет не сесть на него в традиционном смысле, а скорее пристыковаться. Кроме того, он вращается неравномерно, так что перед посадкой необходимо будет произвести точные измерения всех параметров. Вообще, интересно было бы посмотреть, насколько твердым является астероид. Некоторые ученые полагают, что он может оказаться просто кучей камней, которые удерживает вместе слабое поле тяготения; другие считают его твердым. В один прекрасный день знания о плотности астероидов могут оказаться жизненно важными для человечества;

* Дело, разумеется, не в расстоянии, а в наборе и снижении требуемой для перелетов скорости. Желательно также ограничить продолжительность экспедиции, чтобы свести к минимуму радиационное воздействие на экипаж. В сумме эти ограничения могут вылиться в схему полета с весьма большим расходом топлива и, соответственно, высокой массой экспедиционного комплекса и его стоимостью. — *Прим. пер.*

не исключено, что когда-нибудь нам придется дробить астероид на куски при помощи ядерного оружия. Если летящая в космическом пространстве каменная глыба, вместо того чтобы рассыпаться в порошок, расколется на несколько крупных кусков, их падение на Землю может оказаться даже опаснее, чем падение астероида целиком. Может быть, лучше будет подтолкнуть астероид слегка изменить его орбиту раньше, чем он сможет подлететь близко к Земле.

Приземление на спутник Марса

Хотя Комиссия Огастина не рекомендовала к реализации проект, связанный с пилотируемым полетом на Марс, у нас остается другая очень интересная возможность — отправить астронавтов на спутники Марса, Фобос и Деймос. Эти спутники намного меньше земной Луны и поэтому так же, как и астероиды, обладают очень слабым гравитационным полем. Помимо относительной дешевизны, у визита на спутник Марса имеется еще несколько преимуществ:

1. Во-первых, эти спутники можно было бы использовать как временные космические станции. С них можно без особых затрат анализировать планету, не опускаясь на ее поверхность.
2. Во-вторых, когда-нибудь они могут пригодиться как промежуточная ступень для экспедиции на Марс. От Фобоса до центра Красной планеты меньше 10 000 км, так что оттуда можно всего за несколько часов слетать вниз.
3. Вероятно, в этих спутниках имеются пещеры, которые можно было бы использовать для организации постоянной обитаемой базы и для защиты ее от метеоритов и космического излучения. На Фобосе, в частности, имеется громадный кратер Стикни; ве-

БУДУЩЕЕ КОСМИЧЕСКИХ ПУТЕШЕСТВИЙ

роятно, это след удара громадного метеорита, едва не расколовшего спутник. Однако постепенно сила тяжести вновь собрала обломки воедино и восстановила спутник. Быть может, после этого давнего столкновения на Фобосе осталось множество пещер и трещин.

Возвращение на Луну

В докладе Огастина говорится и о новой экспедиции на Луну, но только в том случае, если финансирование космических программ будет увеличено и если на десять следующих лет на эту программу будет выделено по крайней мере 30 млрд долларов дополнительно. Поскольку это весьма маловероятно, лунную программу, по существу, можно считать закрытой, по крайней мере на ближайшие годы.

Отмененная лунная программа, носившая название Constellation, включала несколько основных компонент. Во-первых, это ракета-носитель «Арес V», первый сверхтяжелый носитель США после отставки «Сатурна» в начале 1970-х гг. Во-вторых, тяжелая ракета «Арес I» и корабль «Орион», способный нести шестерых астронавтов к околоземной космической станции или четверых — к Луне. И, наконец, посадочный модуль «Альтаир», который, собственно, и должен был опускаться на поверхность Луны.

У конструкционной схемы шаттла, где корабль крепился на боку, было несколько существенных недостатков, в том числе и тенденция носителя терять в процессе полета куски теплоизолирующей пены. Для корабля «Колумбия» это обернулось катастрофой: он сгорел при возвращении на землю, унеся с собой семерых храбрых астронавтов, — и все потому, что во время старта кусок пеноизоляции, оторвавшийся от внешнего топливного бака, угодил в кромку крыла и пробил в ней дыру. При входе в атмосферу горячие газы ворвались в корпус «Колумбии»,

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

убили всех внутри и вызвали разрушение корабля*. В проекте Constellation, где обитаемый модуль предполагалось разместить непосредственно на верхушке ракеты, такой проблемы бы не возникло.

Пресса окрестила проект Constellation «программой Apollo на стероидах» — очень уж он напоминал лунную программу 1970-х гг. Длина ракеты «Арес I» должна была составить почти 100 м против 112,5 м у «Сатурна V». Предполагалось, что эта ракета будет выводить в космос пилотируемый корабль «Орион», заменив таким образом устаревшие шаттлы. Для запуска модуля «Альтаир» и запаса топлива для полета к Луне NASA предполагало использовать ракету «Арес V» высотой 118 м, способную вывести на околоземную орбиту 188 т груза. Ракета «Арес V» должна была стать основой любой программы полета на Луну или Марс. (Хотя разработка «Ареса» прекращена, хорошо было бы сохранить из программы хоть что-нибудь для дальнейшего использования; разговоры об этом идут.)

Постоянная лунная база

Закрыв программу Constellation, президент Обама оставил открытыми несколько вариантов. Корабль «Орион», который должен был вновь доставить американских астронавтов к Луне и обратно, стали считать спасательным средством для Международной космической станции**. Возможно, в будущем, когда экономика восстановится после кризиса, какая-нибудь другая

* Это неверно. Горячие газы проникли внутрь левого крыла «Колумбии» и после продолжительного нагрева лишили его прочности. Крыло деформировалось, корабль потерял единственно правильную ориентацию при торможении в верхних слоях атмосферы и был разрушен аэродинамическими силами. Астронавтов погубили разгерметизация и невыносимые ударные перегрузки. — *Прим. пер.*

** В феврале 2010 г. администрация Обамы объявила о полном закрытии программы Constellation, включая и корабль «Орион», однако уже в апреле согласилась сохранить его в варианте корабля-спасателя для МКС. В 2011 г. был достигнут консенсус касательно немедленного начала финансирования сверхтяжелого носителя SLS на базе элементов шаттла и продолжения работ по «Ориону» без формального объявления целей перспективной пилотируемой программы. — *Прим. пер.*

БУДУЩЕЕ КОСМИЧЕСКИХ ПУТЕШЕСТВИЙ

администрация захочет вновь вернуться к лунной программе, в том числе и к проекту создания лунной базы.

Создание постоянной обитаемой базы на Луне неизбежно встретит множество препятствий. Первое из них — микрометеориты. Поскольку воздуха на Луне нет, камни с неба падают на ее поверхность беспрепятственно. В этом легко убедиться, просто взглянув на поверхность нашего спутника, сплошь испещренную следами давних столкновений с метеоритами; некоторым из них миллиарды лет.

Много лет назад, когда я учился в Университете Калифорнии в Беркли, мне довелось взглянуть на эту опасность собственными глазами. Привезенный астронавтами в начале 1970-х гг. лунный грунт произвел в научном мире настоящую сенсацию. Меня пригласили в лабораторию, где занимались анализом лунного грунта под микроскопом. Сначала я увидел камень — как мне показалось, совершенно обыкновенный камень (лунные породы очень напоминают земные), но стоило взглянуть в микроскоп... Я был потрясен! Весь камень был покрыт крошечными метеоритными кратерами, внутри которых просматривались еще более мелкие кратеры. Никогда прежде я не видел ничего подобного. Я понял, что в безатмосферном мире даже мельчайшая пылинка, ударив со скоростью больше 60 000 км/ч, легко способна убить — а если не убить, то продырявить скафандр. (Ученые представляют себе громадный ущерб, наносимый микрометеоритами, потому что они могут имитировать столкновения с ними. В лабораториях специально для изучения характера таких столкновений имеются громадные пушки, способные выстреливать металлическими шариками с громадными скоростями.)

Одно из возможных решений — построить лунную базу под поверхностью. Известно, что в древности Луна была вулканически активна, и астронавтам, возможно, удастся найти лавовую трубку, уходящую глубоко под землю. (Лавовые трубки — следы древних лавовых потоков, выгрызавших в глубине

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

пещероподобные структуры и туннели.) В 2009 г. астрономы действительно обнаружили на Луне лавовую трубку размером с небоскреб, которая могла бы послужить основой для постоянной лунной базы.

Такая естественная пещера могла бы обеспечить астронавтам дешевую защиту от космических лучей и солнечных вспышек. Даже во время перелета с одного конца континента на другой (к примеру, из Нью-Йорка в Лос-Анджелес) мы подвергаемся действию радиации с уровнем примерно один миллибар в час (что эквивалентно рентгеновскому снимку у стоматолога). На Луне радиация может оказаться настолько сильной, что жилые помещения базы придется размещать глубоко под поверхностью. В условиях, где нет атмосферы, смертельный дождь из солнечных вспышек и космических лучей подвергнет астронавтов прямому риску преждевременного старения и даже рака.

Невесомость — тоже проблема, особенно при длительных сроках. В тренировочном центре NASA в Кливленде, штат Огайо, над астронавтами проводят различные эксперименты. Однажды я видел, как подвешенный в горизонтальном положении при помощи специальной сбруи испытуемый бегал по установленной вертикально бегущей дорожке. Ученые пытались определить выносливость субъекта в условиях невесомости.

Поговорив с врачами из NASA, я понял, что невесомость гораздо менее безобидна, чем кажется на первый взгляд. Один врач объяснил мне, что за несколько десятилетий длительные полеты американских астронавтов и русских космонавтов в условиях невесомости ясно показали: в невесомости в теле человека происходят существенные изменения, деградируют мышечные ткани, кости и сердечно-сосудистая система. Наше тело — результат миллионов лет развития в гравитационном поле Земли. В условиях продолжительного нахождения в более слабом гравитационном поле в биологических процессах происходит сбой.

Русские космонавты после примерно года в невесомости возвращаются на землю настолько слабыми, что едва могут

БУДУЩЕЕ КОСМИЧЕСКИХ ПУТЕШЕСТВИЙ

ползти*. В космосе даже при ежедневных тренировках мышцы атрофируются, кости теряют кальций, а сердечно-сосудистая система слабеет. После полета некоторым требуется на восстановление несколько месяцев, а некоторые изменения могут оказаться и необратимыми. Путешествие к Марсу может занять два года, и астронавты прилетят на место настолько ослабленными, что не смогут работать. (Одно из решений этой проблемы — закрутить межпланетный корабль, создав в нем искусственную силу тяжести. Механизм здесь тот же, что при вращении ведерка на веревке, когда вода не выливается из него даже в положении вверх дном. Но это очень дорого, потому что для поддержания вращения потребуется тяжелая и громоздкая техника**, а каждый фунт дополнительного веса означает увеличение стоимости проекта на 10 000 долларов.)

Вода на Луне

Одно из недавних открытий может серьезно изменить условия лунной игры: на Луне обнаружен древний лед, оставшийся, вероятно, от давних столкновений с кометами. В 2009 г. лунный зонд NASA под названием LCROSS и его разгонный блок «Центавр» врезались в Луну в районе ее южного полюса. Скорость столкновения составила почти 2500 м/с; в результате вещество с поверхности было выброшено на высоту более километра и возник кратер около 20 м в поперечнике. Телезрители, вероятно,

* Ничего подобного! Во-первых, летающие сейчас вместе по полгода русские и американцы приземляются в добром здравии и уже в день посадки способны хотя и с опаской, но ходить. Во-вторых, таким же было состояние советских и российских космонавтов после рекордных полетов продолжительностью 366 и 438 суток, так как разработанные у нас средства борьбы с воздействием факторов космического полета достаточны и для таких сроков. В-третьих, едва могли ползти Андриян Николаев и Виталий Севастьянов после рекордного для своего времени 18-суточного полета на «Союзе-9» в 1970 г., когда практически никакие меры профилактики еще не применялись. — *Прим. пер.*

** Закрутка корабля или его части вокруг оси реализуется достаточно просто и почти не требует дополнительного расхода топлива. Другое дело, что работать экипажу в таких условиях может быть не слишком удобно. Впрочем, экспериментальных данных на сей счет фактически нет. — *Прим. пер.*

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

были немного разочарованы тем, что при столкновении не было обещанного красивого взрыва, но ученые остались довольны: столкновение получилось весьма информативным. Так, в выброшенном с поверхности веществе было обнаружено около 100 литров воды. А в 2010 г. прозвучало новое шокирующее заявление: в лунном материале вода составляет более 5% по массе, так что на Луне, пожалуй, влаги больше, чем в некоторых районах Сахары.

Это открытие может иметь громадное значение: вполне возможно, что будущие астронавты смогут воспользоваться подлунными залежами льда для производства ракетного топлива (путем извлечения из воды водорода), для дыхания (путем получения кислорода), для защиты (поскольку вода поглощает радиацию) и для питья (естественно, в очищенном виде). Так что это открытие поможет сократить в несколько раз стоимость любой лунной программы.

Полученные результаты могут означать также, что при строительстве и в дальнейшем при снабжении базы астронавты смогут пользоваться местными ресурсами — водой и всевозможными минералами.

СЕРЕДИНА ВЕКА (2030 — 2070 гг.)

Полет на Марс

В 2010 г. президент Обама, посетив Флориду, не только объявил о закрытии лунной программы, но и поддержал вместо этого полет на Марс и финансирование неопределенного пока тяжелого носителя, который сможет когда-нибудь доставить астронавтов в дальний космос, за пределы лунной орбиты. Он намекнул, что надеется дождаться дня — возможно, где-нибудь в середине 2030-х, — когда американские астронавты ступят на поверхность Марса. Некоторые астронавты, как Базз Олдрин, горячо поддержали план Обамы, причем именно потому, что Луну предлагалось пропустить. Олдрин как-то сказал мне, что, раз на Луне

БУДУЩЕЕ КОСМИЧЕСКИХ ПУТЕШЕСТВИЙ

американцы уже были, теперь настоящим достижением будет только полет на Марс.

Из всех планет Солнечной системы только Марс кажется достаточно похожим на Землю, там могла зародиться какая-то форма жизни. (Меркурий, обжигаемый Солнцем, вероятно, слишком враждебен, чтобы на нем могла существовать жизнь, какой мы ее знаем. Газовые гиганты — Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун — слишком холодны, чтобы поддерживать жизнь. Венера — во многом двойник Земли, но разгулявшийся парниковый эффект сделал условия там просто адскими: температура достигает $+500^{\circ}\text{C}$, состоящая в основном из углекислого газа атмосфера в 100 раз плотнее земной, а с неба дождем льет серная кислота. Попытавшись прогуляться по венерианской поверхности, вы задохнетесь и будете раздавлены насмерть, а ваши останки прожарятся и растворятся в серной кислоте.)

Марс, с другой стороны, когда-то был довольно влажной планетой. Там, как на Земле, были океаны и реки, давно исчезнувшие. Сегодня это промерзшая безжизненная пустыня. Возможно, однако, что когда-то — миллиарды лет назад — на Марсе процветала микрожизнь; не исключено даже, что и сейчас где-нибудь в горячих источниках живут бактерии.

После того как США твердо решат осуществить пилотируемую экспедицию на Марс, на ее реализацию уйдет еще 20–30 лет. Но нельзя не отметить, что и добраться до Марса человеку будет гораздо труднее, чем до Луны. Марс по сравнению с Луной — это качественный скачок сложности. До Луны можно долететь за три дня — до Марса придется добираться от полугода до года.

В июле 2009 г. ученые NASA прикинули, как может выглядеть реальная марсианская экспедиция. Около шести месяцев астронавты будут лететь к Марсу, затем проведут 18 месяцев на Красной планете, затем еще шесть месяцев уйдет на возвращение.

Всего к Марсу придется отправить около 700 т оборудования — это больше чем Международная космическая станция

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

ценой 100 млрд долларов*. Чтобы сэкономить на пище и воде, во время путешествия и работы на Марсе astronautам придется очищать собственные продукты жизнедеятельности и использовать их для удобрения растений. На Марсе нет ни кислорода, ни почвы, ни воды, ни животных, ни растений, поэтому все придется везти с Земли. Местными ресурсами воспользоваться не удастся. Атмосфера Марса почти целиком состоит из углекислого газа, а атмосферное давление составляет всего 1% земного. Любая прореха в скафандре будет означать быстрое падение давления и смерть.

Экспедиция будет настолько сложной, что ее придется разбить на несколько этапов. Поскольку везти топливо на обратный путь с Земли было бы слишком дорого, не исключено, что на Марс придется отправить отдельную ракету с топливом для дозаправки межпланетного аппарата. (Или, если из марсианского льда можно извлечь достаточно кислорода и водорода, можно будет использовать в качестве ракетного топлива именно их.)

Добравшись до Марса, astronautам, вероятно, придется несколько недель адаптироваться к жизни на другой планете. Цикл дня и ночи там примерно такой же, как на Земле (марсианские сутки чуть дольше и составляют 24,6 часов), а вот год на Марсе вдвое длиннее земного. Температура почти никогда не поднимается выше точки замерзания. Там бушуют жестокие пылевые бури. Пески на Марсе мелкие, как гальк, а пылевые бури нередко охватывают всю планету.

Терраформировать Марс?

Предположим, что к середине века astronautы побывают на Марсе и организуют там примитивную базу. Но этого мало.

* Эта популярная оценка стоимости МКС неверна, так как в нее искусственно включены затраты на все полеты шаттлов за период ее строительства и эксплуатации. Проектирование и изготовление компонентов станции, научной аппаратуры, а также управление полетом оцениваются сейчас примерно в 58 млрд долларов за почти 30 лет (1984—2011). — *Прим. пер.*

БУДУЩЕЕ КОСМИЧЕСКИХ ПУТЕШЕСТВИЙ

Вообще говоря, человечество наверняка будет всерьез рассматривать проект терраформирования Марса — превращения его в более приятную для жизни планету. Работы по этому проекту начнутся в лучшем случае в самом конце XXI века, скорее даже в начале следующего.

Уже сейчас ученые успели рассмотреть несколько способов сделать Марс более гостеприимным местом. Вероятно, простейший из них — добавить в атмосферу Красной планеты метан или другой парниковый газ. Метан — более мощный парниковый газ, чем двуокись углерода, так что метановая атмосфера будет удерживать солнечный свет и постепенно нагревать поверхность планеты. Температура поднимется выше точки заморозки. Кроме метана, в качестве вариантов рассматриваются и другие парниковые газы, такие как аммиак и фреон.

Как только температура пойдет вверх, начнет — впервые за миллиарды лет — таять вечная мерзлота, благодаря чему речные русла вновь наполнятся водой. Со временем, когда атмосфера станет более плотной, на Марсе могут вновь образоваться озера и даже океаны. В результате высвободится еще больше углекислого газа — возникнет положительная обратная связь.

В 2009 г. было обнаружено, что с поверхности Марса естественным образом выделяется метан. Источник этого газа по-прежнему остается загадкой. На Земле метан возникает в основном при гниении органических материалов, но на Марсе он может быть побочным продуктом каких-то геологических процессов. Если ученым удастся установить источник этого газа, то, может быть, удастся и увеличить его выход, а значит, изменить атмосферу планеты.

Еще одна возможность — направить в атмосферу Марса комету. Если удастся перехватить комету достаточно далеко от Солнца, даже небольшого воздействия — толчка специальным ракетным двигателем, столкновения под нужным углом с космическим аппаратом или даже просто гравитационного притяжения этого аппарата — может оказаться достаточно,

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

чтобы нужным образом изменить орбиту космического скитальца. Кометы состоят в основном из воды, и в Солнечной системе их немало. (К примеру, ядро кометы Галлея по форме напоминает арахисовый орешек около 30 км в поперечнике и состоит в основном из льда и камня.) По мере приближения к Марсу комета начнет испытывать трение об атмосферу и потихоньку разрушаться, высвобождая воду в виде пара в атмосферу планеты.

Если подходящей кометы не найдется, можно будет задействовать вместо нее одну из ледяных лун Юпитера или, скажем, содержащий лед астероид, такой как Церера (ученые считают, что она на 20% состоит из воды). Конечно, луну или астероид труднее будет направить в нужном нам направлении, поскольку, как правило, такие небесные тела находятся на стабильных орбитах. А дальше два варианта: можно будет оставить приведенную комету, луну или астероид на орбите Марса и позволить медленно разрушаться, высвобождая водяной пар в атмосферу, или обрушить это небесное тело на одну из полярных шапок Марса. Полярные области Красной планеты представляют собой замороженный углекислый газ, исчезающий в летние месяцы, и лед, составляющий основу и никогда не тающий. Если комета, луна или астероид упадут на ледяную шапку, высвободится громадное количество энергии и сухой лед испарится. Парниковый газ попадет в атмосферу и ускорит процесс глобального потепления на Марсе. В этом варианте также может возникнуть положительная обратная связь. Чем больше углекислого газа высвободится из приполярных областей планеты, тем выше поднимется температура и, следовательно, высвободится еще больше углекислого газа.

Еще одно предложение — взорвать на полярных ледяных шапках несколько ядерных бомб. Недостаток такого метода очевиден: не исключено, что высвобожденная вода окажется радиоактивной. Или можно попытаться построить там термоядерный реактор, который будет плавить лед приполярных областей.

БУДУЩЕЕ КОСМИЧЕСКИХ ПУТЕШЕСТВИЙ

Основным топливом для термоядерного реактора служит вода, а замороженной воды на Марсе достаточно.

Когда температура поднимется выше точки замерзания, на поверхности образуются мелкие водоемы, которые можно будет заселить некоторыми формами водорослей, которые на Земле прекрасно себя чувствуют в Антарктике. Атмосфера Марса, на 95% состоящая из углекислого газа, им, вероятно, понравится. Можно также генетически модифицировать водоросли, чтобы обеспечить максимально быстрый их рост. Водоемы с водорослями ускорят терраформирование в нескольких отношениях. Во-первых, водоросли будут превращать углекислый газ в кислород. Во-вторых, они изменят цвет поверхности Марса и, соответственно, его отражательную способность. Более темная поверхность станет поглощать больше солнечного излучения. В-третьих, поскольку расти водоросли будут сами по себе, без всякой посторонней помощи, такой способ изменить обстановку на планете будет относительно дешевым. В-четвертых, водоросли можно использовать в пищу. Со временем такие озера с водорослями создадут почвенный слой и питательные вещества; этим смогут воспользоваться растения, которые еще больше ускорят выработку кислорода.

Ученые рассматривают также возможность окружить Марс спутниками, которые будут собирать солнечный свет и направлять его на поверхность планеты. Не исключено, что такие спутники даже сами по себе смогут поднять температуру на поверхности Марса до точки замерзания и выше. Как только это произойдет и начнется таяние вечной мерзлоты, дальше планета будет разогреваться сама, естественным образом.

Экономическая выгода?

Не стоит питать иллюзий и думать, что колонизация Луны и Марса сразу же принесет человечеству несчетные экономические блага. Когда Колумб в 1492 г. отплыл в Новый Свет, тем

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

самым он открыл доступ к невиданным в истории сокровищам. Очень скоро конкистадоры начали присылать из вновь открытых мест на родину золото, награбленное у местных индейцев, в громадных количествах, а поселенцы — ценное сырье и сельскохозяйственные продукты. Затраты на экспедиции в Новый Свет более чем окупались несметными сокровищами, которые можно было там обрести.

Но колонии на Луне и Марсе — дело иное. Там нет воздуха, жидкой воды или плодородной почвы, так что все необходимое придется доставлять с Земли ракетами, а это невероятно дорого. Более того, в колонизации Луны, по крайней мере в ближайшей перспективе, нет особого военного смысла. Чтобы добраться с Земли на Луну или обратно, требуется в среднем трое суток, а ядерная война может начаться и закончиться всего часа за полтора — с момента запуска первых межконтинентальных баллистических ракет и до последних взрывов. Космическая кавалерия с Луны просто не успеет принять сколько-нибудь реальное участие в событиях на Земле. Вследствие этого Пентагон не финансирует никаких крупных программ по милитаризации Луны.

Это означает, что любые крупномасштабные операции по освоению иных миров будут направлены на благо не Земли, а новых космических колоний. Колонистам придется добывать металлы и другие полезные ископаемые для собственных нужд, поскольку возить их с Земли (да и на Землю тоже) слишком дорого. Добыча полезных ископаемых в поясе астероидов станет экономически выгодной только при наличии самодостаточных колоний, которые смогут сами использовать добытые материалы, а это произойдет в лучшем случае в самом конце этого столетия или, что более вероятно, позже.

Космический туризм

Но когда обычный гражданский человек сможет полететь в космос? Некоторые ученые, такие как покойный Джерард О'Нейл

БУДУЩЕЕ КОСМИЧЕСКИХ ПУТЕШЕСТВИЙ

(Gerard O'Neill) из Принстонского университета, мечтали о космической колонии в виде гигантского колеса, где разместятся жилые отсеки, фабрики по очищению воды, отсеки для регенерации воздуха и т. п. Смысл подобных станций — в решении проблемы перенаселения. Однако в XXI веке мысль о том, что космические колонии могут решить или хотя бы облегчить эту проблему, по-прежнему останется фантазией. Для большинства представителей человечества Земля будет единственным домом еще по крайней мере на 100—200 лет.

Однако существует все же способ, при помощи которого обычный человек может в самом деле полететь в космос: в качестве туриста. Нашлись предприниматели, которые критикуют NASA за страшную неэффективность и бюрократию и готовы сами вложить деньги в космическую технику, считая, что рыночные механизмы помогут частным инвесторам снизить стоимость космических путешествий. Берт Рутан (Burt Rutan) и его инвесторы уже выиграли 4 октября 2004 г. приз Ansari X Prize в 10 млн долларов, запустив свой SpaceShipOne дважды в течение двух недель на высоту чуть больше 100 км над поверхностью земли. SpaceShipOne — первый ракетный корабль, успешно совершивший путешествие в космос на частные деньги. Его разработка обошлась примерно в 25 млн долларов. Поручителем при получении кредитов выступил миллиардер из Microsoft Пол Аллен (Paul Allen).

В настоящее время почти готов космический корабль SpaceShipTwo. Рутан считает, что очень скоро можно будет начать испытания, после завершения которых коммерческий космический корабль станет реальностью. Миллиардер Ричард Брэнсон из Virgin Atlantic создал компанию Virgin Galactic с космодромом в Нью-Мексико и длинным списком людей, готовых потратить 200 000 долларов на реализацию давней мечты о полете в космос. Virgin Galactic, которая станет, вероятно, первой крупной компанией, предлагающей коммерческие полеты в космос, уже заказала пять кораблей SpaceShipTwo. Если все пойдет,

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

как планируется, стоимость космического путешествия упадет раз в десять.

На SpaceShipTwo использовано несколько способов сэкономить. Вместо того чтобы использовать громадные ракеты-носители, призванные закидывать полезный груз в космос непосредственно с Земли, Рутан помещает свой космический корабль на самолет и разгоняет при помощи обычных атмосферных реактивных двигателей. При этом в пределах атмосферы используется кислород. Затем на высоте около 16 км над землей корабль отделяется от самолета и включает собственные реактивные двигатели. Выйти на околоземную орбиту корабль не может, но имеющегося на нем запаса топлива хватает, чтобы подняться на 100 с лишним километров над поверхностью земли — туда, где почти нет атмосферы и где пассажиры могут увидеть, как небо постепенно становится черным. Двигатели способны разогнать корабль до скорости, соответствующей $M=3$, т. е. до трехкратной скорости звука (около 3500 км/ч). Этого, конечно, недостаточно, чтобы вывести его на орбиту (здесь, как уже говорилось, нужна скорость не менее 28 500 км/ч, что соответствует 7,9 км/с), но для доставки пассажиров на кромку земной атмосферы и открытого космоса хватит. Вполне возможно, что в самом ближайшем будущем туристический полет в космос будет стоить не больше, чем сафари по Африке.

(Однако чтобы облететь вокруг Земли, вам придется заплатить гораздо больше и совершить полет на борт космической станции. Я однажды спросил миллиардера из Microsoft Чарльза Симоньи, в какую сумму обошелся ему билет на МКС. В сообщениях прессы мелькала цифра 20 млн долларов. Он ответил, что не хотел бы называть точную сумму, но что газетные отчеты ошибаются не сильно. Ему так понравилось в космосе, что немного позже он слетал на станцию еще раз. Так что космический туризм, даже в недалеком будущем, останется привилегией людей весьма состоятельных.)

БУДУЩЕЕ КОСМИЧЕСКИХ ПУТЕШЕСТВИЙ

В сентябре 2010 г. космический туризм получил дополнительный стимул в лице корпорации Boeing, которая объявила о своем выходе на этот рынок и запланировала первые полеты для космических туристов уже на 2015 г. Это вполне соответствовало бы плану президента Обамы передать пилотируемую космонавтику в частные руки. План Boeing предусматривает запуски к Международной космической станции с космодрома на мысе Канаверал капсулы с четырьмя членами экипажа и тремя свободными местами для космических туристов. Однако Boeing достаточно прямо высказался о финансировании частных космических проектов: большую часть денег придется заплатить налогоплательщикам. «Это ненадежный рынок, — говорит Джон Элбон (John Elbon), руководитель программы коммерческих космических запусков. — Если бы нам при всех имеющихся факторах риска пришлось рассчитывать только на средства Boeing, мы не сумели бы успешно завершить дело».

Темные лошадки

Чрезвычайно высокая стоимость космических путешествий сдерживает и коммерческий, и научный прогресс, так что человечество в настоящий момент нуждается в совершенно новой, революционной технологии. К середине века ученые и инженеры должны довести до ума новые ракеты-носители, чтобы снизить стоимость запусков.

Физик Фримен Дайсон выделил среди множества предложений несколько технологий, которые в данный момент проходят стадию эксперимента, но когда-нибудь, возможно, сделают космос доступным даже для обычного человека. Ни одно из этих предложений не гарантирует успеха, но в случае удачи стоимость доставки грузов в космос резко упадет. Первое из этих предложений — лазерные системы реактивной тяги: мощный лазерный луч от внешнего источника (к примеру, с Земли) направляется на основание ракеты, где вызывает

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

мини-взрыв, ударная волна которого и приводит ракету в движение. Стабильный поток лазерных импульсов испаряет воду, и получившийся пар толкает ракету в космос. Главное преимущество лазерного реактивного двигателя состоит в том, что энергия для него поступает из внешнего источника — со стационарного лазера. Лазерная ракета по существу не несет топлива. (В противовес этому химические ракеты значительную часть энергии тратят на подъем и транспортировку топлива для своих же двигателей.)

Технология лазерного реактивного движения уже была продемонстрирована в лаборатории, где в 1997 г. прошла успешные испытания модели. Лейк Мирабо (Leik Mirabo) из Ренсселеровского политехнического института в Нью-Йорке создал рабочий прототип подобной ракеты и назвал его демонстратором технологии светокорабля. Одна из первых его летающих моделей весила 50 граммов и представляла собой «тарелку» диаметром около 15 см. Лазер мощностью 10 кВт генерировал серию лазерных взрывов в основании ракеты; воздушные ударные волны разгоняли ее с ускорением 2 g (что вдвое превосходит ускорение свободного падения на Земле и составляет примерно $19,6 \text{ м/с}^2$) и звуками, напоминающими автоматные очереди. Светоракеты Мирабо поднимались в воздух более чем на 30 м (что примерно соответствует первым жидкостным ракетам Роберта Годдарда в 1930-х гг.).

Дайсон мечтает о том дне, когда лазерные системы реактивной тяги смогут выводить на орбиту Земли тяжелые грузы по цене всего пять долларов за фунт, что, безусловно, стало бы настоящей революцией в космической отрасли. Он представляет себе гигантский 1000-мегаваттный (что соответствует мощности стандартного атомного энергоблока) лазер, способный вытолкнуть на орбиту двухтонную ракету, состоящую из полезного груза и бака с водой в основании. Вода медленно просачивается сквозь крохотные поры в нижней стенке бака. И полезный груз, и бак весят по тонне. Когда лазерный луч падает на днище раке-

БУДУЩЕЕ КОСМИЧЕСКИХ ПУТЕШЕСТВИЙ

ты, вода мгновенно испаряется, порождая серию ударных волн, которые толкают ракету в космос. Ракета достигает ускорения 3 g и через шесть минут выходит на околоземную орбиту.

Поскольку сама ракета топлива не несет, отсутствует и опасность катастрофического взрыва носителя. Для химических ракет даже сегодня, через 50 лет после Первого спутника, вероятность отказа составляет около 1%. И отказы эти, как правило, смотрятся очень впечатляюще — кислород и водород взрываются гигантскими огненными шарами, а обломки дождем сыплются на стартовую площадку. Лазерная система, напротив, проста, безопасна и может использоваться не один раз с очень небольшими промежутками; нужны для ее работы только вода и лазер.

Более того, со временем эта система окупится. Если с ее помощью запускать по полмиллиона космических аппаратов в год, плата за запуск легко перекроет и операционные расходы, и стоимость разработки и строительства. Дайсон, однако, понимает, что до реализации этой мечты должно пройти еще не одно десятилетие. На фундаментальные исследования в области мощных лазеров потребуется гораздо больше денег, чем в состоянии выделить любой университет. Если финансирование разработки не возьмет на себя правительство или какая-нибудь крупная корпорация, лазерные системы реактивной тяги никогда не будут построены.

Здесь могла бы оказаться очень кстати премия фонда X Prize. Я однажды беседовал с Питером Диамандисом, основавшим его в 1996 г., и убедился, что он прекрасно сознает ограниченность химических ракет. Даже со SpaceShipTwo, признался он мне, мы столкнулись с тем, что химические ракеты — это очень дорогой способ убежать от действия земного тяготения. Вследствие этого следующая премия X Prize достанется тому, кто сумеет создать ракету, движимую лучом энергии. (Но вместо лазерного луча здесь предполагается использовать другой, похожий на лазерный пучок электромагнитной энергии — микроволновой луч.)

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Шумиха вокруг премии и сама многомиллионная награда, возможно, окажутся достаточными приманками для разжигания интереса к проблеме нехимических ракет, таких как микроволновая ракета, среди предпринимателей и изобретателей.

Существуют и другие экспериментальные ракетные конструкции, но их разработка сопряжена с иными рисками. Один из вариантов — газовая пушка, выстреливающая из громадного ствола некие снаряды, — что-то вроде снаряда в романе Жюль Верна «С Земли на Луну». Снаряд Верна, однако, не долетел бы до Луны, потому что порох не в состоянии разогнать его до скорости 11 км/с, необходимой для выхода из поля притяжения Земли. В газовой пушке вместо пороха снаряды с огромной скоростью будет выталкивать газ, сжатый под большим давлением в длинной трубке. Покойный Абрахам Герцберг (Abraham Hertzberg) из Университета Вашингтона в Сиэтле построил прототип такой пушки диаметром около 10 см и длиной около 10 м. Газ внутри пушки представляет собой смесь метана и воздуха, сжатую до 25 атмосфер. Газ поджигается, и снаряд разгоняется в стволе с ускорением 30 000 g, при котором большинство металлических предметов расплющиваются.

Герцберг доказал, что газовая пушка может работать. Но чтобы закинуть снаряд в космос, ствол ее должен быть гораздо длиннее, около 230 м; кроме того, вдоль траектории разгона в стволе пушки должны работать разные газы. Чтобы полезный груз набрал первую космическую скорость, в стволе необходимо организовать пять участков с разными рабочими газами.

Стоимость запуска из газовой пушки может оказаться даже ниже, чем при помощи лазерной системы. Однако запускать таким образом в космос пилотируемые аппараты слишком опасно: только твердый груз способен выдержать интенсивное ускорение в стволе.

Третья экспериментальная конструкция — «слингатрон», который, подобно праще, должен раскручивать груз, а затем выбрасывать его в воздух.

БУДУЩЕЕ КОСМИЧЕСКИХ ПУТЕШЕСТВИЙ

Прототип этого устройства был построен Дерекком Тидманом (Derek Tidman); его настольная модель способна за несколько секунд раскрутить предмет и бросить его со скоростью до 100 м/с. Прототип слингатрона представляет собой трубку в виде бублика диаметром около метра. Сама трубка имеет диаметр около 2,5 см и содержит небольшой стальной шарик. Шарик катается по кольцевой трубке, а небольшие моторчики подталкивают его и заставляют разгоняться.

Настоящий слингатрон, задачей которого будет забрасывать грузы на околоземную орбиту, должен быть значительно больше по размеру — диаметром около сотни километров; кроме того, он должен накачивать в шар энергию до тех пор, пока тот не разгонится до 11,2 км/с. Шар будет вылетать из слингатрона с ускорением в 1000 g, что тоже очень много. Далеко не каждый груз сможет выдержать такое ускорение. Прежде чем будет построен настоящий слингатрон, предстоит решить множество технических проблем, самая важная из которых — минимизировать трение между шаром и трубкой.

На доработку каждого из трех названных проектов даже в самом лучшем случае уйдет не один десяток лет, и то только если финансирование возьмет на себя правительство или частный бизнес. В противном случае эти прототипы навсегда останутся на столах своих изобретателей.

ДАЛЕКОЕ БУДУЩЕЕ (2070—2100 гг.)

Космический лифт

Не исключено, что к концу текущего века развитие нанотехнологий сделает возможным даже знаменитый космический лифт. Человек, подобно Джеку на бобовом стебле, сможет подняться по нему до облаков и выше. Мы будем входить в лифт, нажимать кнопку «вверх» и подниматься по волокну, представляющему собой углеродную нанотрубку длиной в тысячи километров. Понятно, что такая новинка могла бы перевернуть

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

экономику космических путешествий и поставить все с ног на голову.

В 1895 г. русский физик Константин Циолковский, вдохновленный строительством Эйфелевой башни — самого высокого на тот момент сооружения в мире, задал себе простой вопрос: почему нельзя построить такую башню высотой до космоса? Если она будет достаточно высока, подсчитал он, она, согласно законам физики, никогда не упадет. Он назвал такую конструкцию «небесным дворцом».

Представьте себе шарик. Если вы начнете крутить его на веревочке, то центробежной силы будет вполне достаточно, чтобы удержать шарик от падения. Точно так же, если трос будет достаточно длинным, то центробежная сила удержит груз, закрепленный на его конце, от падения на землю. Вращения Земли будет достаточно, чтобы удержать трос в небе. Как только трос космического лифта протянется в небеса, любое транспортное средство, способное передвигаться по нему, сможет спокойно выехать в космос.

На бумаге такой фокус, похоже, работает. Но, к несчастью, если вы попытаетесь применить ньютоновы законы движения и рассчитать по ним натяжение троса, то окажется, что это натяжение превышает прочность стали: любой трос просто порвется, что делает космический лифт невозможным.

На протяжении многих лет и даже десятилетий идея космического лифта то забывалась, то снова обсуждалась, чтобы в очередной раз быть отвергнутой по той же причине. В 1957 г. русский ученый Юрий Арцутанов предложил свой вариант проекта, по которому строить лифт предполагалось не снизу вверх, а наоборот, сверху вниз. Предлагалось послать на орбиту космический корабль, который затем спустит оттуда трос; на земле его останется лишь закрепить. Фантасты тоже приложили руку к популяризации этого проекта. Артур Кларк вывел космический лифт в своем романе 1979 г. «Фонтаны рая», а Роберт Хайнлайн — в романе 1982 г. «Фрида».

БУДУЩЕЕ КОСМИЧЕСКИХ ПУТЕШЕСТВИЙ

Углеродные нанотрубки вновь возродили эту идею. Как мы уже видели, они обладают самой большой прочностью из всех известных материалов. Они прочнее стали, и потенциально по прочности нанотрубки могли бы противостоять нагрузкам, возникающим в конструкции космического лифта.

Проблема, однако, в том, чтобы создать трос из чистых углеродных нанотрубок длиной 80 000 км*. Это невероятно сложная задача, ведь до сих пор ученым удалось получить в лаборатории лишь несколько сантиметров чистой углеродной нанотрубки. Можно, конечно, свить вместе миллиарды нановолокон, но эти волокна не будут цельными. Задача в том, чтобы создать длинную нанотрубку, в которой каждый атом углерода будет находиться строго на своем месте.

В 2009 г. ученые из Университета Райса объявили о важном открытии: полученные волокна не чистые, а композитные, но ими разработана достаточно гибкая технология, позволяющая создавать углеродные нанотрубки любой длины. Методом проб и ошибок исследователи обнаружили, что углеродные нанотрубки можно растворить в хлоросульфоновой кислоте, а затем выдавливать из носика, как из шприца. Таким методом можно изготовить волокно из углеродных нанотрубок любой длины, а толщина его составляет 50 микрон.

Одно из коммерческих применений волокна из углеродных нанотрубок — линии электропередач, ведь нанотрубки лучше меди проводят электричество, они легче и прочнее. Профессор инженерных дисциплин из Университета Райса Маттео Паскуали (Matteo Pasquali) говорит: «Для линий электропередач такого волокна требуются тонны, а способа сделать его пока нет. Нужно придумать всего одно чудо».

Хотя полученные волокна недостаточно чисты и не годятся для космического лифта, эти исследования позволяют

* Космический лифт не может кончатся на высоте геостационарной орбиты — для того, чтобы он висел неподвижно и мог служить опорой для движения транспортных кабин, систему надо оснастить противовесом на высоте до 100 000 км. — *Прим. пер.*

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

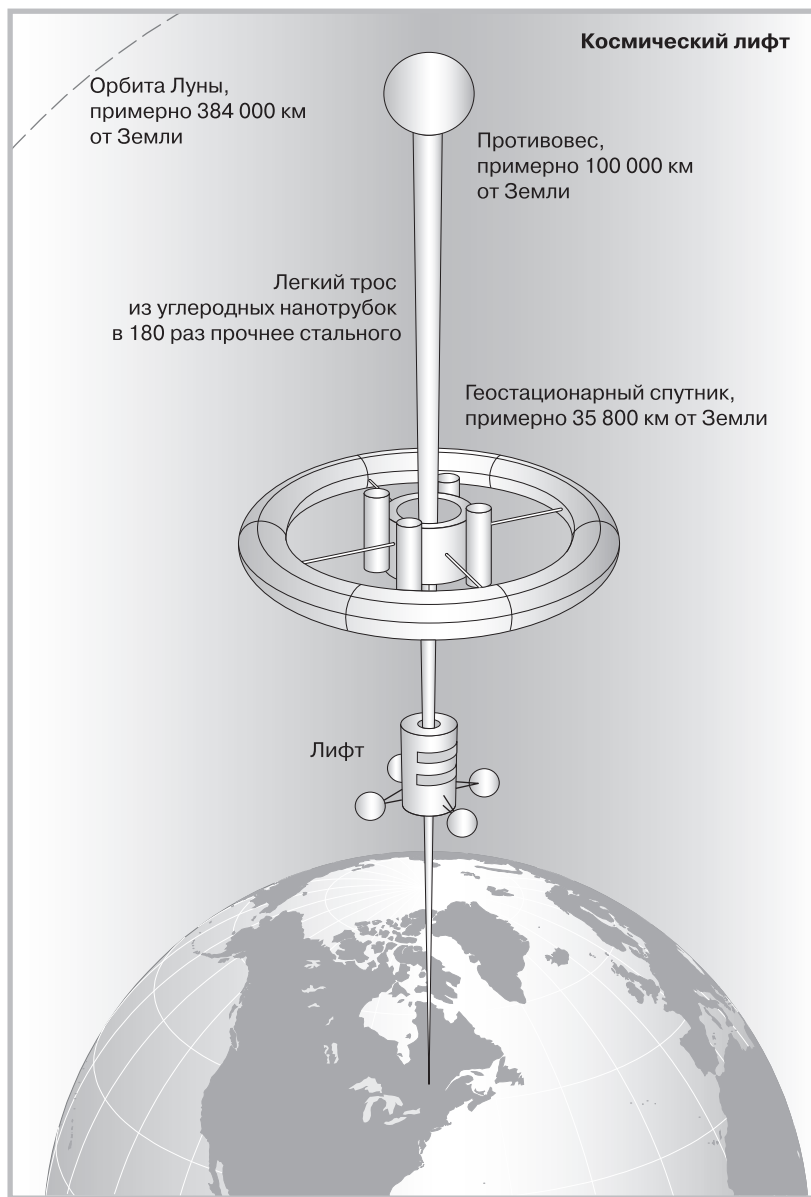


Рисунок Джеффри Уорда (Jeffrey L. Ward)

Космический лифт в небеса может однажды многократно уменьшить стоимость космических путешествий. Ключ к созданию космического лифта — нанотехнологии

БУДУЩЕЕ КОСМИЧЕСКИХ ПУТЕШЕСТВИЙ

надеяться, что когда-нибудь мы научимся выращивать чистые углеродные нанотрубки, достаточно прочные, чтобы поднять нас в небеса.

Но даже если предположить, что проблема производства длинных нанотрубок будет решена, перед учеными встанут другие практические проблемы. К примеру, трос космического лифта должен будет подняться гораздо выше орбит большинства спутников. Это значит, что орбита какого-нибудь спутника когда-нибудь непременно пересечется с трассой космического лифта и вызовет аварию. Поскольку низкие спутники летают со скоростью 7-8 км/с, столкновение может оказаться катастрофическим. Из этого следует, что лифт придется оснащать специальными ракетными двигателями, которые будут отодвигать трос лифта с пути пролетающих спутников и космических обломков.

Еще одна проблема — погода, т. е. ураганы, грозы и сильные ветра. Космический лифт необходимо закрепить на земле, может быть, на авианосце или нефтяной платформе в Тихом океане, но, чтобы не пострадать от разгула стихий, он должен быть гибким.

Кроме того, в кабине должна быть тревожная кнопка и спасательная капсула на случай обрыва троса. Если с тросом что-нибудь произойдет, кабинка лифта должна спланировать или опуститься на парашюте на землю, чтобы спасти пассажиров.

Чтобы ускорить начало исследований в области космических лифтов, NASA объявило несколько конкурсов. На Гонках космических лифтов под эгидой NASA разыгрываются призы на общую сумму 2 млн долларов. По правилам, чтобы выиграть конкурс лифтов, работающих за счет переданной по лучу энергии, следует построить устройство массой не более 50 кг, способное забраться по тросу на высоту 1 км со скоростью 2 м/с. Сложность в том, что это устройство не должно иметь топлива, батарей или электрического кабеля. Энергия для его движения должна передаваться с Земли по лучу.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Я своими глазами видел энтузиазм и энергию инженеров, которые работают над космическим лифтом и мечтают завоевать приз. Я даже летал в Сиэтл, чтобы встретиться с молодыми предприимчивыми инженерами группы под названием LaserMotive. Услышав «песню сирен» — призыв NASA, они взялись за разработку прототипов устройства, которое, вполне возможно, станет сердцем космического лифта.

Я вошел в большой ангар, арендованный молодыми людьми для испытаний. В одном конце ангара я увидел большой лазер, способный излучать мощный энергетический луч. В другом находился собственно космический лифт. Это был ящик около метра шириной с большим зеркалом. Зеркало отражало попавший на него лазерный луч на целую батарею солнечных элементов, превращавших его энергию в электричество. Электричество поступало на двигатель, и кабинка лифта медленно ползла вверх по короткому тросу. При таком устройстве кабине с электрическим двигателем не нужно тащить за собой электрический кабель. Достаточно направить на нее лазерный луч с земли, и лифт сам собой поползет по тросу.

Лазер в ангаре был настолько мощным, что людям во время его работы приходилось защищать глаза специальными очками. После множества попыток молодым людям удалось наконец заставить свою машину ползти вверх. Один аспект проблемы космического лифта был решен, по крайней мере в теории.

Первоначально задание было таким сложным, что никто из участников не сумел его выполнить и завоевать обещанный приз. Однако в 2009 г. LaserMotive получила-таки приз. Состязания проходили на авиабазе Эдвардс в калифорнийской пустыне Мохаве. Вертолет с длинным тросом висел над пустыней, а устройства участников пытались по этому тросу подняться. Лифт команды LaserMotive сумел это сделать четырежды за два дня; лучшее показанное им время составило 228 секунд. Так что труды молодых инженеров, которые я наблюдал в том ангаре, принесли плоды.

БУДУЩЕЕ КОСМИЧЕСКИХ ПУТЕШЕСТВИЙ

Звездолеты

К концу этого столетия на Марсе и, возможно, где-нибудь в поясе астероидов, скорее всего, появятся научные станции, несмотря даже на нынешний кризис финансирования пилотируемой космонавтики. Следующей в очереди будет уже настоящая звезда. Сегодня межзвездный зонд был бы совершенно безнадежной затеей, но через сто лет ситуация может измениться.

Чтобы идея межзвездных путешествий стала реальностью, необходимо решить несколько фундаментальных задач. Первая из них — поиск нового принципа движения. Традиционной химической ракете на путь к ближайшей звезде потребовалось бы около 70 000 лет. К примеру, два «Вояджера», запущенные в 1977 г., поставили рекорд по удалению на максимальное расстояние от Земли. В настоящее время (май 2011 г.) первый из них удалился от Солнца на 17,5 млрд км, но пройденное им расстояние — лишь крошечная доля пути до звезд.

Предложено несколько конструкций и принципов движения для межзвездных аппаратов. Это:

- солнечный парус;
- ядерная ракета;
- ракета с прямоточным термоядерным двигателем;
- нанокорабли.

Бывая на станции NASA Плам-Брук в Кливленде, штат Огайо, я встречался с одним из мечтателей и горячих сторонников идеи солнечного паруса. На этом полигоне построена самая большая в мире вакуумная камера для испытания спутников. Размеры этой камеры поражают воображение; это настоящая пещера около 30 м в поперечнике и 38 м в высоту, в которой запросто разместилось бы несколько многоэтажных жилых домов. Она также достаточно велика, чтобы испытывать в условиях космического вакуума спутники и части ракет. Масштаб

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

проекта поражает. Я почувствовал, что мне оказана особая честь: я находился в том самом месте, где испытывались многие важнейшие американские спутники, межпланетные зонды и ракеты.

Итак, я встретился с одним из ведущих сторонников солнечного паруса, ученым из NASA Лесом Джонсоном (Les Johnson). Он рассказал мне, что с детства, читая фантастику, мечтал строить ракеты, способные долететь до звезд. Джонсон даже написал базовый курс по устройству солнечных парусов. Он считает, что этот принцип может быть реализован уже в ближайшие несколько десятилетий, но готов к тому, что реальный звездолет будет построен, скорее всего, через много лет после его смерти. Подобно каменщикам, строившим великие средневековые соборы, Джонсон понимает, что на создание аппарата для полета к звездам может потребоваться несколько человеческих жизней.

Принцип действия солнечного паруса основан на том факте, что свет хотя и не имеет массы покоя, но обладает импульсом, а значит, может оказывать давление. Давление, которое солнечный свет оказывает на все встреченные объекты, чрезвычайно мало, мы попросту не ощущаем его, но если солнечный парус будет достаточно велик и мы готовы будем ждать достаточно долго, то это давление сможет разогнать межзвездный корабль (в космосе интенсивность солнечного света в среднем в восемь раз выше, чем на Земле).

Джонсон сказал мне, что его цель — создать гигантский солнечный парус из очень тонкого, но эластичного и упругого пластика. Этот парус должен быть несколько километров в поперечнике, и строить его предполагается в открытом космосе. Будучи собранным, он будет медленно обращаться вокруг Солнца, набирая постепенно все большую скорость. За несколько лет разгона парус выйдет по спирали за пределы Солнечной системы и устремится к звездам. Вообще, солнечный парус, как рассказал мне Джонсон, способен разогнать межзвездный зонд

БУДУЩЕЕ КОСМИЧЕСКИХ ПУТЕШЕСТВИЙ

до 0,1% скорости света; соответственно, до ближайшей звезды он при таких условиях доберется лет за 400.

Джонсон пытается придумать что-нибудь, что позволило бы придать солнечному парусу дополнительное ускорение и сократить время полета. Один из возможных путей — разместить на Луне батарею мощных лазеров. Лазерные лучи, попадая на парус, будут передавать ему дополнительную энергию и, соответственно, дополнительную скорость при полете к звездам.

Одна из проблем звездолета под солнечным парусом состоит в том, что им чрезвычайно трудно управлять, а остановить и направить в противоположную сторону практически невозможно, потому что солнечный свет распространяется только в одну сторону — от Солнца. Одно из решений этой проблемы — развернуть парус и использовать для замедления свет от звезды-цели. Еще одна возможность — совершить гравитационный маневр около этой далекой звезды и, использовав эффект пращи, разогнаться для обратного путешествия. Третий вариант — сесть на какую-нибудь луну той звездной системы, построить на ней батарею лазеров и пуститься в обратный путь, пользуясь светом звезды и лазерными лучами.

Джонсон мечтает о звездах, но понимает, что реальность на данный момент выглядит куда скромнее его мечтаний. В 1993 г. русские развернули на корабле, отстыкованном от станции «Мир», 25-рефлектор из лавсана, но целью эксперимента была всего лишь демонстрация системы развертывания. Вторая попытка закончилась неудачей. В 2004 г. японцы успешно запустили два прототипа солнечного паруса, но опять же, целью было испытание системы развертывания, а не движения. В 2005 г. была предпринята амбициозная попытка развернуть настоящий солнечный парус под названием Cosmos 1, организованная Планетарным обществом, общественной организацией Cosmos Studios и Российской академией наук. Парус был запущен с российской подводной лодки, но запуск ракеты «Волна» оказался неудачным, и до орбиты солнечный парус не добрался.

А в 2008 г., когда команда из NASA попыталась запустить солнечный парус NanoSail-D*, та же история произошла с ракетой Falcon 1.

Наконец в мае 2010 г. Японское агентство аэрокосмических исследований успешно запустило IKAROS — первый космический аппарат, который должен использовать технологию солнечного паруса в межпланетном пространстве. Аппарат был выведен на траекторию полета к Венере, успешно развернул квадратный парус с диагональю 20 м и продемонстрировал возможность управлять его ориентацией и менять скорость полета. В дальнейшем японцы планируют запустить еще один межпланетный зонд с солнечным парусом к Юпитеру.

Ядерная ракета

Ученые рассматривают также возможность использования ядерной энергии для межзвездных перелетов. Еще в 1953 г. Комиссия по атомной энергии США начала серьезные разработки ракет с атомными реакторами, начало которым было положено проектом Rover. В 1950-е и 1960-е гг. эксперименты с ядерными ракетами заканчивались в основном неудачно. Ядерные двигатели вели себя нестабильно и вообще оказывались слишком сложными для тогдашних систем управления. Кроме того, несложно показать, что энергетический выход обычного атомного реактора деления совершенно недостаточен для межзвездного космического аппарата. Средний промышленный атомный реактор производит примерно 1000 МВт энергии, а этого недостаточно, чтобы добраться до звезд.

Однако еще в 1950-е гг. ученые предложили использовать для межзвездных аппаратов атомные и водородные бомбы, а не реакторы. В проекте «Орион», к примеру, предполагалось раз-

* Второй экземпляр этого КА, NanoSail-D2, был запущен 20 ноября 2010 г. вместе со спутником Fastsat, отделился от него 17 января 2011 г. и успешно развернул космический парус площадью 10 м². — *Прим. пер.*

БУДУЩЕЕ КОСМИЧЕСКИХ ПУТЕШЕСТВИЙ

гонять ракету взрывными волнами от атомных бомб. Звездолет должен был сбрасывать позади себя серию атомных бомб, взрывы которых порождали бы мощные вспышки рентгеновского излучения. Ударная волна от этих взрывов должна была разгонять звездолет.

В 1959 г. физики из General Atomics оценили, что продвинутая версия «Ориона» диаметром 400 м должна весить 8 млн т, а энергию ей должна обеспечивать 1000 водородных бомб.

Горячим сторонником проекта «Орион» был физик Фримен Дайсон. «Для меня “Орион” означал доступность всей Солнечной системы для распространения жизни. Он мог изменить ход истории, — говорит Дайсон. Кроме того, это был бы удобный способ избавиться от атомных бомб. — За один полет мы избавились бы от 2000 бомб».

Концом проекта «Орион», однако, стал заключенный в 1963 г. Договор об ограничении ядерных испытаний, запретивший наземные взрывы. Без испытаний невозможно было довести конструкцию «Ориона» до ума и проект закрыли.

Прямоточный термоядерный двигатель

Еще один проект ядерной ракеты выдвинул в 1960 г. Роберт Буссард (Robert W. Bussard); он предложил снабдить ракету термоядерным двигателем, похожим на обычный авиационный реактивный двигатель. Вообще, прямоточный двигатель захватывает воздух по ходу полета и уже внутри смешивает его с топливом. Затем топливно-воздушная смесь поджигается, и происходит химический взрыв, который создает движущую силу. Буссард предложил применить тот же принцип к термоядерному двигателю. Вместо того чтобы забирать воздух из атмосферы, как делает авиационный двигатель, прямоточный термоядерный двигатель будет собирать в межзвездном пространстве имеющийся там водород. Собранный газ предполагается сжать и нагреть при помощи электрических и магнитных полей до начала термоядер-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

ной реакции синтеза гелия, при которой выделится громадное количество энергии. Возникнет взрыв, и ракета получит толчок. А поскольку запасы водорода в межзвездном пространстве неисчерпаемы, прямоточный ядерный двигатель сможет, предположительно, работать вечно.

Конструкция корабля с прямоточным термоядерным двигателем напоминает рожок для мороженого. Воронка захватывает газообразный водород, который затем поступает в двигатель, нагревается и вступает в реакцию синтеза с другими атомами водорода. Буссард рассчитал, что прямоточный ядерный двигатель весом около 1000 т способен поддерживать постоянное ускорение около 10 м/с^2 (т. е. примерно равное ускорению свободного падения на Земле); в этом случае уже через год звездолет разгонится примерно до 77% скорости света. Поскольку прямоточный ядерный двигатель не ограничен запасами топлива, звездолет с таким двигателем теоретически мог бы выйти за пределы нашей Галактики и всего за 23 года по корабельным часам добраться до Туманности Андромеды, расположенной на расстоянии в 2 млн световых лет от нас. (Согласно теории относительности Эйнштейна время в ускоряющемся корабле замедляется, так что астронавты в звездолете постареют всего на 23 года, даже если на Земле за это время пройдут миллионы лет.)

Однако и здесь существуют серьезные проблемы. Во-первых, в межзвездной среде встречаются в основном отдельные протоны, так что термоядерный двигатель должен будет жечь чистый водород, хотя эта реакция дает не так уж много энергии. (Водородный синтез может идти разными путями. В настоящее время на Земле ученые предпочитают вариант влияния дейтерия и трития, при котором выделяется значительно больше энергии. Однако в межзвездной среде водород находится в виде отдельных протонов, поэтому в прямоточных ядерных двигателях можно использовать только протон-протонную реакцию синтеза, при которой энергии выделяется гораздо меньше, чем при дейтерий-тритиевой реакции.) Однако Буссард показал,

БУДУЩЕЕ КОСМИЧЕСКИХ ПУТЕШЕСТВИЙ

что если модифицировать топливную смесь добавлением некоторого количества углерода, то углерод, работая как катализатор, позволит получить громадное количество энергии, вполне достаточное для звездного корабля.

Во-вторых, воронка впереди звездолета, чтобы собирать достаточно водорода, должна быть огромной — диаметром порядка 160 км, так что собирать ее придется в космосе.

Существует и еще одна нерешенная проблема. В 1985 г. инженеры Роберт Зубрин (Robert Zubrin) и Дейна Эндрюс (Dana Andrews) показали, что сопротивление среды не даст звездолету с прямоточным термоядерным двигателем разогнаться до околосветовых скоростей. Сопротивление это обусловлено движением корабля и воронки в поле атомов водорода. Однако их расчеты основаны на некоторых предположениях, которые в будущем могут оказаться неприменимыми к кораблям с прямоточными двигателями.

В настоящее время, пока у нас нет четких представлений о процессе протон-протонного синтеза (а также о сопротивлении ионов водорода в межзвездной среде), перспективы прямоточного ядерного двигателя остаются неопределенными. Но если эти инженерные проблемы решаемы, такая конструкция наверняка окажется одной из лучших.

Ракеты на антивеществе

Еще один вариант — использовать для звездолета антивещество, величайший источник энергии во Вселенной. Антивещество противоположно веществу в том смысле, что все составляющие части атома там имеют противоположные заряды. К примеру, электрон обладает отрицательным зарядом, но антиэлектрон (позитрон) имеет положительный заряд. При контакте с веществом антивещество аннигилирует. Энергии при этом выделяется так много, что чайной ложки антивещества хватило бы, чтобы уничтожить весь Нью-Йорк.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

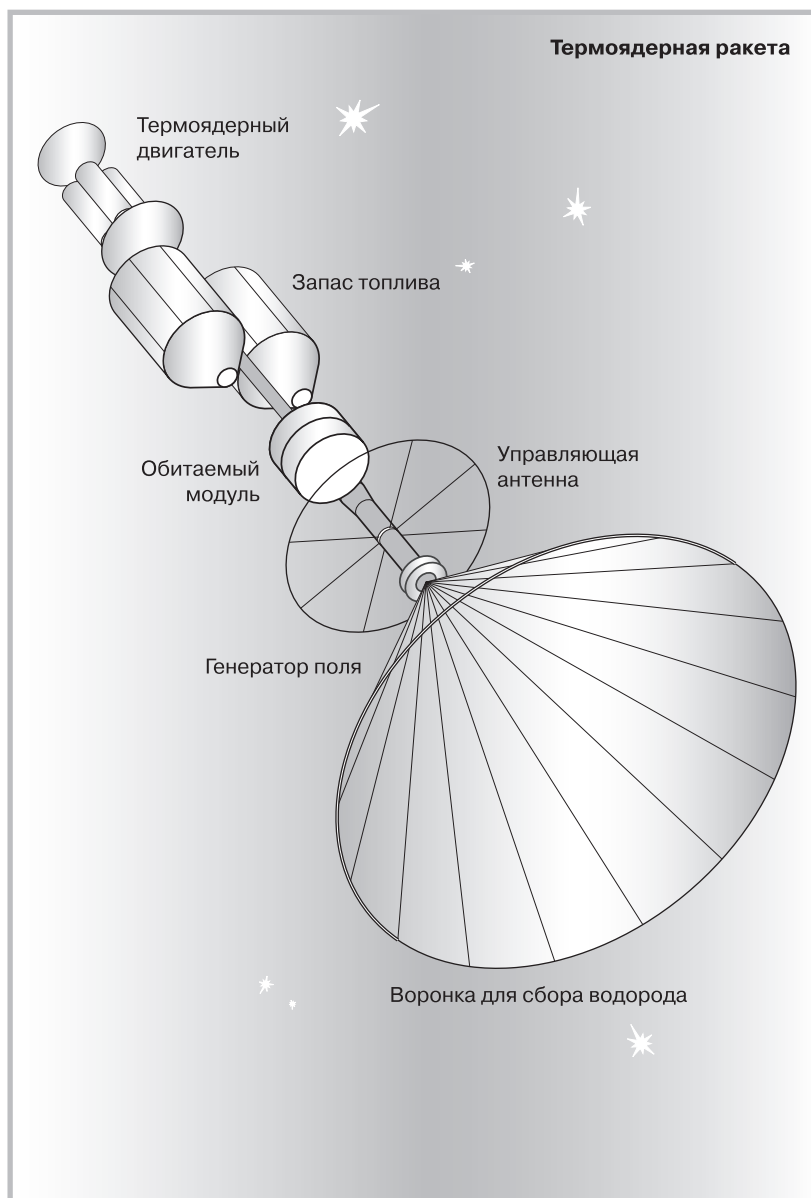


Рисунок Джеффри Уорда (Jeffrey L. Ward)

Прямоточный термоядерный двигатель собирает водород из межзвездного пространства, поэтому теоретически он может работать вечно

БУДУЩЕЕ КОСМИЧЕСКИХ ПУТЕШЕСТВИЙ

Антиматерия — настолько мощная штука, что злодеи в романе Дэна Брауна «Ангелы и демоны» сооружают из него бомбу и собираются взорвать Ватикан; антиматерия по сюжету они крадут в крупнейшем европейском центре ядерных исследований CERN, расположенном в Швейцарии недалеко от Женевы. В отличие от водородной бомбы, эффективность которой составляет всего 1%, эффективность бомбы из антиматерии составила бы 100%. При аннигиляции материи и антиматерии энергия выделяется в полном соответствии с уравнением Эйнштейна: $E = mc^2$.

В принципе, антиматерия представляет собой идеальное ракетное топливо. Согласно оценке Джеральда Смита (Gerald Smith) из Университета штата Пенсильвания, 4 мг антиматерии было бы достаточно, чтобы долететь до Марса, а сотня граммов донесла бы корабль до ближайших звезд. При аннигиляции антиматерии выделяется в миллиард раз больше энергии, чем можно получить из такого же количества современного ракетного топлива. Двигатель на антиматерии выглядел бы довольно просто. Можно просто впрыскивать частицы антиматерии, одну за другой, в специальную камеру ракеты. Там они аннигилируют с обычной материей, вызвав титанический взрыв. Нагретые газы затем выбрасываются с одного конца камеры, создавая реактивную тягу.

Мы пока очень далеки от воплощения этой мечты. Ученые сумели получить антиэлектроны и антипротоны, а также атомы антиводорода, в которых антиэлектрон циркулирует вокруг антипротона. Это было сделано и в CERN, и в Национальной ускорительной лаборатории имени Ферми (которую чаще называют Фермилаб) недалеко от Чикаго на теватроне, втором по величине ускорителе частиц в мире (крупнее него только Большой адронный коллайдер в CERN). В обеих лабораториях физики направили на мишень поток высокоэнергетических частиц и получили поток осколков, среди которых были и антипротоны. При помощи мощных магнитов антиматерия отделили от

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

обычного вещества. Затем полученные антипротоны замедлили и позволили им смешаться с антиэлектронами, в результате чего получились атомы антиводорода.

Дэйв МакГиннис, один из физиков Фермилаба, очень долго и много думал о практическом использовании антивещества. Мы с ним стояли рядом с теватроном, и Дэйв объяснял мне обескураживающую экономику антивещества. Единственный известный способ получить сколько-нибудь существенное количество антивещества, говорил он, — это воспользоваться мощным коллайдером вроде теватрона; но эти машины чрезвычайно дороги и позволяют получать антивещество лишь в очень малых количествах. К примеру, в 2004 г. коллайдер в CERN выдал ученым несколько триллионных долей грамма антивещества, и обошлось это удовольствие ученым в 20 млн долларов. При такой цене мировая экономика обанкротится прежде, чем удастся получить достаточно антивещества на одну звездную экспедицию. Сами по себе двигатели на антивеществе, подчеркнул МакГиннис, не представляют из себя ничего особенно сложного и уж наверняка не противоречат законам природы. Но стоимость такого двигателя не позволит реально построить его в ближайшем будущем.

Одна из причин такой бешеной дороговизны антивещества — громадные суммы, которые приходится выкладывать на строительство ускорителей и коллайдеров. Однако сами по себе ускорители — машины универсальные и используются в основном не для производства антивещества, а для получения всяких экзотических элементарных частиц. Это инструмент для физических исследований, а не промышленный аппарат.

Можно предположить, что разработка нового типа коллайдера, предназначенного специально для производства антивещества, могла бы намного снизить его стоимость. Затем массовое производство таких машин позволило бы получить значительное количество антивещества. Харольд Джерриш

БУДУЩЕЕ КОСМИЧЕСКИХ ПУТЕШЕСТВИЙ

(Harold Gerrish) из NASA уверен, что цена антивещества может со временем опуститься до 5000 долларов за микрограмм.

Еще одна возможность воспользоваться антивеществом в качестве ракетного топлива заключается в том, чтобы найти в открытом космосе метеорит из антивещества. Если бы такой объект нашелся, его энергии, скорее всего, хватило бы не на один звездолет. Надо сказать, что в 2006 г. в составе российского спутника «Ресурс-ДК» запущен европейский прибор PAMELA, назначение которого — поиск естественного антивещества в открытом космосе.

Если в космосе удастся обнаружить антивещество, то для его сбора человечеству придется придумать что-нибудь вроде электромагнитной сети.

Так что, хотя межзвездные космические аппараты на антивеществе — идея вполне реальная и не противоречит законам природы, в XXI веке они скорее всего не появятся, разве что в самом конце века ученые смогут снизить стоимость антивещества до сколько-нибудь разумной величины. Но если это удастся сделать, проект звездолета на антивеществе наверняка будет рассматриваться одним из первых.

Нанокорабли

Мы давно привыкли к спецэффектам в фильмах вроде «Звездных войн» и «Звездного пути»; при мысли о звездолетах возникают образы громадных футуристических машин, ошетилившихся со всех сторон последними изобретениями в сфере высокотехнологичных приспособлений. А между тем есть и другая возможность: создавать при помощи нанотехнологий крохотные звездолеты, не крупнее наперстка или иглы, а то и еще меньших размеров. Мы заранее уверены, что звездолеты должны быть огромными, как «Энтерпрайз», и нести целый экипаж астронавтов. Но при помощи нанотехнологий основные функции звездолета можно будет заложить в минимальный объем,

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

и тогда к звездам отправится не один громадный корабль, в котором экипаж должен будет жить многие годы, а миллионы крохотных нанокораблей. До места назначения долетит, возможно, лишь небольшая их часть, но главное будет сделано: добравшись до одного из спутников системы назначения, эти корабли построят завод и обеспечат производство неограниченного числа собственных копий.

Винт Серф считает, что нанокорабли можно использовать как для изучения Солнечной системы, так — со временем — и для полетов к звездам. Он говорит: «Если мы сконструируем маленькие, но мощные наноустройства, которые несложно будет перевозить и доставлять на поверхность, под поверхность и в атмосферу соседних с нами планет и спутников, исследование Солнечной системы станет значительно более эффективным... Эти же возможности можно распространить на межзвездные исследования».

Известно, что в природе млекопитающие производят на свет всего по несколько отпрысков и заботятся о том, чтобы все они выжили. Насекомые, напротив, производят на свет огромное количество детенышей, но выживает из них лишь небольшая часть. Обе стратегии достаточно успешны, чтобы позволить видам существовать на планете в течение многих миллионов лет. Точно так же мы можем послать в космос один очень дорогой звездолет — или миллионы крохотных звездолетиков, каждый из которых будет стоить копейки и потреблять совсем немного топлива.

Сама концепция нанокораблей основана на очень успешной стратегии, которая широко используется в природе: стратегии стаи. Птицы, пчелы и другие подобные им часто летают стаями или роями. Дело не только в том, что большое число сородичей гарантирует безопасность; кроме того, стая работает как система раннего предупреждения. Если в одном конце стаи происходит что-то опасное — к примеру, нападение хищника, вся стая мгновенно получает информацию об этом. Стая весь-

БУДУЩЕЕ КОСМИЧЕСКИХ ПУТЕШЕСТВИЙ

ма эффективна и энергетически. Птицы, летая характерной V-образной фигурой — клином, используют турбулентные потоки от крыла соседа впереди и тем самым облегчают себе полет.

Ученые говорят о рое, стае или муравьиной семье как о «сверхорганизме», который в некоторых случаях обладает собственным разумом, не зависящим от способностей отдельных составляющих его особей. Нервная система муравья, к примеру, очень проста, а мозг очень мал, но вместе муравьиная семья способна построить сложнейшее сооружение — муравейник. Ученые надеются воспользоваться уроками природы при разработке «стайных» роботов, которым однажды, возможно, предстоит отправиться в далекий путь к иным планетам и звездам.

В чем-то все это напоминает концепцию «разумной пыли», разработкой которой занимается Пентагон: миллиарды частиц, снабженных крохотными датчиками, рассеиваются в воздухе и осуществляют разведку. Каждый датчик сам по себе разума не имеет и дает лишь крохотную крупинку информации, но вместе они могут обеспечить своим хозяевам горы всевозможных данных. DARPA спонсировало исследования в этой области с прицелом на военное применение в будущем — к примеру, при помощи разумной пыли можно следить за вражескими позициями на поле боя. В 2007 и 2009 гг. ВВС США выпустили подробные планы вооружения на ближайшие несколько десятилетий; там есть все — от продвинутых версий беспилотного самолета Predator (сегодня он стоит 4,5 млн долларов) до огромных стай крохотных дешевых датчиков размером с булавочную головку.

Ученых также интересует эта концепция. Стаи разумной пыли пригодились бы для наблюдения в реальном времени за ураганом с тысяч различных точек; точно так же можно было бы наблюдать за грозами, вулканическими извержениями, землетрясениями, наводнениями, лесными пожарами и другими природными явлениями. В фильме «Смерч», к примеру, мы наблюдаем за командой отважных охотников за ураганами, которые рискуют жизнью и здоровьем, размещая датчики во-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

круг торнадо. Мало того что это очень рискованно, но и еще не слишком эффективно. Вместо того чтобы с риском для жизни расставлять несколько датчиков вокруг вулканического кратера во время извержения или вокруг гуляющего по степи столба торнадо и получать с них информацию о температуре, влажности и скорости ветра, гораздо эффективнее было бы рассеять в воздухе разумную пыль и получить данные одновременно с тысяч различных точек, разбросанных по площади в сотни квадратных километров. В компьютере эти данные сложатся в трехмерную картинку, которая в реальном времени покажет вам развитие урагана или различные фазы извержения. Коммерческие предприятия уже работают над образцами подобных крошечных датчиков, и некоторые из них размерами действительно не превосходят булавочной головки.

Еще одно преимущество нанокораблей состоит в том, что им, чтобы добраться до космического пространства, требуется совсем немного топлива. Если громадные ракеты-носители способны разогнаться лишь до скорости 11 км/с, то крошечные объекты вроде нанокораблей относительно несложно вывести в космос с невероятно высокими скоростями. Скажем, элементарные частицы можно разгонять до субсветовых скоростей при помощи обычного электрического поля. Если придать наночастицам небольшой электрический заряд, их тоже легко можно будет разгонять электрическим полем.

Вместо того чтобы тратить огромные средства на отправку межпланетных зондов, можно наделить каждый нанокорабль способностью к самокопированию; таким образом, даже один нанобот сможет построить фабрику по производству наноботов или даже лунную базу. После этого новые самокопирующиеся зонды отправятся исследовать иные миры. (Проблема в том, чтобы создать первого нанобота, способного к самокопированию, а это пока еще дело очень далекого будущего.)

В 1980 г. NASA воспринимало идею самокопирующегося робота достаточно серьезно, чтобы заказать в Университете

БУДУЩЕЕ КОСМИЧЕСКИХ ПУТЕШЕСТВИЙ

Санта-Клары специальное исследование под названием «Продвинутая автоматика для космических задач» и подробно рассмотреть несколько возможных вариантов. Один из сценариев, рассмотренных учеными NASA, предусматривал отправку небольших самокопирующихся роботов на Луну. Там роботы должны были наладить производство себе подобных из подручных материалов.

Отчет по этой программе был посвящен в основном созданию химического завода по переработке лунного грунта (реголита). Предполагалось, к примеру, что робот приземлится на Луну, разделится на составляющие его части, а затем соберет из них новую конфигурацию, — в точности как игрушечный робот-трансформер. Так, робот мог собрать большие параболические зеркала, чтобы сфокусировать солнечный свет и начать плавить реголит. Затем он при помощи плавиковой кислоты извлек бы из расплава реголита пригодные к использованию металлы и другие вещества. Из металлов можно было бы построить лунную базу. Со временем робот соорудил бы и небольшой лунный заводик по производству собственных копий.

Исходя из данных этого отчета, Институт перспективных концепций NASA запустил целую серию проектов, основанных на использовании самовоспроизводящихся роботов. Мейсон Пек (Mason Peck) из Корнеллского университета был одним из тех, кто всерьез принял идею крошечных звездолетов.

Я побывал у Пека в лаборатории и своими глазами видел верстак, заваленный всевозможными компонентами, которым однажды, может быть, суждено отправиться в космос. Рядом с верстаком имелась и небольшая чистая комната с пластиковыми стенами, где собирались тонкие компоненты будущих спутников.

Представление Пека об исследовании космического пространства очень отличается от всего, что мы видим в голливудских фильмах. Он предполагает возможность создания микросхемы размером сантиметр на сантиметр и весом один грамм,

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

которую можно разогнать до 1% скорости света. К примеру, он может воспользоваться эффектом пращи, при помощи которого NASA разгоняет свои межпланетные станции до огромных скоростей. Этот гравитационный маневр предусматривает облет планеты; примерно так же камень в праще, удерживаемый ремнем-гравитацией, разгоняется, летя по кругу, и выстреливает в нужном направлении. Здесь тяготение планеты помогает придать космическому аппарату дополнительную скорость.

Но Пек вместо тяготения хочет использовать магнитные силы. Он рассчитывает заставить микрозвездолет описать петлю в магнитном поле Юпитера, которое в 20 000 раз превосходит по интенсивности магнитное поле Земли и вполне сравнимо с полями в земных ускорителях, способных разогнать элементарные частицы до энергий в триллионы электронвольт.

Он показал мне образец — микросхему, которая, по его замыслу, могла бы однажды отправиться в долгое путешествие вокруг Юпитера. Это был крошечный квадратик размером меньше кончика пальца, буквально набитый всякой научной всячиной*. Вообще, межзвездный аппарат Пека будет очень простым. С одной стороны на чипе имеется солнечная батарея, которая должна обеспечивать его энергией для связи, с другой — радиопередатчик, видеокамера и другие датчики. Этот аппарат не имеет двигателя, а разогнать его должно будет магнитное поле Юпитера. (К сожалению, в 2007 г. Институт перспективных концепций NASA, с 1998 г. финансировавший этот и другие инновационные проекты для космической программы, был закрыт в связи с сокращением бюджетных расходов.)

Мы видим, что представление Пека о звездолетах сильно отличается от принятого в научной фантастике, где громадные звездные корабли бороздят просторы Вселенной под управлением команды отважных астронавтов. К примеру, если бы

* В мае 2011 г. три экспериментальных «чипоспутника» команды Пека были доставлены на МКС для ресурсных испытаний в условиях открытого космоса. — *Прим. пер.*

БУДУЩЕЕ КОСМИЧЕСКИХ ПУТЕШЕСТВИЙ

на одной из лун Юпитера появилась научная база, на орбиту вокруг газового гиганта можно было бы выпустить десятки таких маленьких кораблей. Если бы, помимо всего прочего, на этой луне появилась батарея лазерных пушек, крохотные корабли можно было бы разогнать до скорости, составляющей заметную долю от скорости света, придав им ускорение при помощи лазерного луча.

Чуть позже я задал Пеку простой вопрос: может ли он уменьшить свой чип до размеров молекулы при помощи нанотехнологий? Тогда не потребуется даже магнитное поле Юпитера — их можно будет разогнать до субсветовых скоростей в обычном ускорителе, построенном на Луне. Он сказал, что это возможно, но подробности он еще не прорабатывал.

Так что мы взяли лист бумаги и вместе начали исписывать его уравнениями и прикидывать, что из этого получится. (Именно так мы, ученые, общаемся между собой — идем с мелом к доске или берем лист бумаги и пытаемся решить проблему при помощи различных формул.) Мы написали уравнение для силы Лоренца, которую Пек предполагает использовать для разгона своих кораблей возле Юпитера. Затем мы мысленно уменьшили корабли до размеров молекул и мысленно же поместили их в гипотетический ускоритель вроде Большого адронного коллайдера. Мы быстро поняли, что при помощи обычного ускорителя, размещенного на Луне, наши нанозвездолеты можно без особых проблем разогнать до скоростей, близких к скорости света. Уменьшив размеры звездолета с сантиметровой пластинки до молекулы, мы получили возможность уменьшить необходимый для их разгона ускоритель; теперь вместо Юпитера мы могли воспользоваться традиционным ускорителем частиц. Идея показалась нам вполне реальной.

Однако, проанализировав уравнения еще раз, мы пришли к общему выводу: единственная проблема здесь — стабильность и прочность нанозвездолетов. Не разорвет ли ускоритель наши молекулы на части? Подобно мячику на веревочке, эти нано-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

корабли при разгоне до околосветовых скоростей будут испытывать на себе действие центробежных сил. Кроме того, они будут электрически заряжены, так что даже электрические силы будут угрожать их целостности. Общий вывод: да, нанокорабли — это реальная возможность, но потребуются десятилетия исследований, прежде чем чип Пека можно будет уменьшить до размеров молекулы и усилить настолько, чтобы разгон до околосветовой скорости не мог ему ничем повредить.

А пока Мейсон Пек мечтает отправить рой нанозвездолетов к ближайшей звезде в надежде на то, что хотя бы некоторые из них преодолют разделяющее нас межзвездное пространство. Но что они будут делать, когда прибудут на место назначения?

Здесь на сцену выходит проект Пэй Чжана (Pei Zhang) из Университета Карнеги—Меллон в Кремниевой долине. Он создал целую флотилию минивертолетов, которым когда-нибудь, возможно, суждено подняться в атмосферу чужой планеты. Он с гордостью показывал мне свой рой миниботов, напоминающих игрушечные вертолетики. Однако внешняя простота обманчива. Я прекрасно видел, что в каждом из них имеется чип, набитый сложнейшей электроникой. Одним нажатием кнопки Чжан поднял в воздух четыре минибота, который тут же разлетелись в разные стороны и начали передавать нам информацию. Очень скоро я был окружен миниботами со всех сторон.

Такие вертолетики, рассказал мне Чжан, должны оказывать помощь в критических обстоятельствах вроде пожара или взрыва; их задача — сбор информации и разведка. Со временем миниботы можно будет оснастить телекамерами и датчиками температуры, давления, направления ветра и т. д.; в случае природной или техногенной катастрофы такая информация может оказаться жизненно важной. Тысячи миниботов можно будет выпускать над полем сражения, лесным пожаром или (почему бы нет?) над неизученным инопланетным ландшафтом. Все они непрерывно поддерживают связь между собой. Если один мини-

БУДУЩЕЕ КОСМИЧЕСКИХ ПУТЕШЕСТВИЙ

бот наталкивается на препятствие, остальные сразу же узнают об этом.

Итак, один из сценариев межзвездных путешествий — выстрелить в направлении ближайшей звезды тысячами дешевых одноразовых чипов, похожих на чип Мейсона Пека, летящих с околосветовой скоростью. Если хотя бы небольшая их часть доберется до места назначения, минизвездолеты выпустят крылья или винты и, подобно механическому рою Пэй Чжана, полетят над невиданным инопланетным ландшафтом. Информацию они будут посылать по радио прямо на Землю*. Как только будут обнаружены перспективные планеты, в путь отправится второе поколение минизвездолетов; их задачей уже будет постройка у далекой звезды заводов по выпуску все тех же минизвездолетов, которые затем отправятся к следующей звезде. Процесс будет развиваться бесконечно.

Исход с Земли?

К 2100 г. мы, скорее всего, отправим астронавтов на Марс и в пояс астероидов, исследуем луны Юпитера и всерьез займемся задачей отправки зонда к звездам.

Но как же человечество? Появятся ли у нас космические колонии и смогут ли они решить проблему перенаселенности? Найдем ли мы новый дом в космосе? Начнет ли род человеческий к 2100 г. покидать Землю?

Нет. Учитывая стоимость космических путешествий, большинство людей не поднимутся на борт космического корабля и не увидят далеких планет ни в 2100 г., ни даже много позже. Возможно, горсточка астронавтов успеет к этому времени создать несколько крохотных аванпостов человечества на других планетах и спутниках, но человечество в целом останется прикованным к Земле.

* Такая передача сама по себе представляет собой сложнейшую задачу. — *Прим. пер.*

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Раз Земля будет домом человечества еще не одно столетие, зададимся вопросом: как будет развиваться человеческая цивилизация? Какое влияние на образ жизни, труд и общество будет оказывать наука? Наука — двигатель процветания, поэтому стоит подумать о том, как она изменит в будущем человеческую цивилизацию и наше благосостояние.

7. БУДУЩЕЕ БОГАТСТВА

ПОБЕДИТЕЛИ И ПРОИГРАВШИЕ

Технология и идеология сотрясают в XXI веке основы капитализма.

Технология делает умения и знания единственным источником устойчивого стратегического преимущества.

Лестер Туроу (Lester Thurow)

В мифологии расцвет и падение империй определялся силой и мастерством армий императора. Великие римские военачальники перед решающими сражениями молились в храмах Марсу, богу войны. Легендарные подвиги Тора вдохновляли викингов на героические сражения. В память о победах над врагами древние строили громадные храмы и памятники и посвящали их богам.

Но если проанализировать реальные причины расцвета и гибели великих цивилизаций, обнаружится совсем другая история.

Представьте, что вы инопланетянин с Марса и посетили Землю в 1500 г. Какую из великих цивилизаций того времени вы бы предпочли? Какой предрекли бы будущее господство над миром? Ответ прост: какой угодно, только не европейской.

На востоке вы видите великую китайскую цивилизацию, существовавшую уже больше тысячи лет. Длинный список изобретений, сделанных китайцами, не имеет себе равных: это бумага, печатный пресс, порох, компас и т. д. — перечислять можно долго. Китайские ученые — лучшие на планете. Страна едина, и на материке царит мир.

На юге вы видите Османскую империю, которая едва не завоевала всю Европу. Великая мусульманская цивилизация изобрела алгебру, за ней также множество достижений в оптике

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

и физике; именно она дала звездам современные названия. В империи процветают искусства и науки. Ее великие армии практически не встречают сопротивления. Стамбул — один из величайших мировых центров научного знания.

А с другой стороны — жалкие европейские государства, истерзанные религиозным фундаментализмом, инквизицией и процессами над ведьмами. Западная Европа в упадке уже тысячу лет, с момента гибели Римской империи. Она настолько отстала, что постоянно заимствует технологии у других. Это настоящая черная дыра Средневековья. Знания Римской империи в основном утрачены, сменившись удушающей религиозной догмой. Оппозиция или несогласие зачастую встречаются пытками или даже хуже. Более того, европейские города-государства непрерывно воюют друг с другом.

Но что же произошло?

Вскоре после 1500 г. и Китайская, и Османская империи вступили в 500-летний период технологического застоя, тогда как в Европе началось беспрецедентное развитие науки и техники.

Еще в 1405 г. император Китая Юнлэ собрал громадную морскую армаду — самую крупную за всю историю человечества. С ее помощью он хотел исследовать мир. (Три крохотных колумбовых суденышка прекрасно разместились бы на палубе одного из колоссальных кораблей армады.) Было организовано семь экспедиций, одна масштабнее другой. Китайский флот прошел вдоль берегов Юго-Восточной Азии, добрался до Африки, Мадагаскара, а возможно, заходил и дальше. Домой моряки привозили богатую добычу — вещи, экзотические продукты и зверей со всех концов света. В зверинце династии Мин выставлены чудесные древние изображения африканских жирафов.

Однако правители Китая остались недовольны. И это все? Где же великие армии, которые могли бы противостоять китайским? Неужели экзотические кушанья и диковинные животные — это все, что может предложить мир? Потеряв интерес,

БУДУЩЕЕ БОГАТСТВА

следующие правители Китая позволили великому флоту прийти в упадок; в конце концов он перестал существовать. Китай постепенно обособился от остального мира; в нем начался застой, тогда как мир, напротив, рванул вперед.

Что-то похожее происходило и в Османской империи. Завоевав бóльшую часть известного им мира, османы отвернулись от него и устремили свое внимание внутрь, погрузившись в религиозный фундаментализм и целые века застоя. Махатхир Мохамад (Mahathir Mohamad), бывший премьер-министр Малайзии, как-то сказал: «Великая исламская цивилизация пришла в упадок, когда мусульманские ученые стали интерпретировать поиск истины, как и предписано Кораном, в чисто религиозном смысле; все прочее знание для них стало неисламским. В результате мусульмане отказались от науки, математики, медицины и других так называемых светских дисциплин. Вместо этого они посвящали свое время спорам об учении ислама и его толкованиях, об исламской юриспруденции и исламской практике, что в конечном итоге привело к распаду уммы* и образованию многочисленных сект, культов и школ».

А вот в Европе начинался великий подъем. Торговля принесла с собой свежие революционные идеи, распространению которых способствовал и печатный пресс Гутенберга. Власть церкви после тысячи лет безусловного главенства начала ослабевать. Университеты постепенно переходили от толкования непонятных пассажей Библии к прикладным наукам: это и физика Ньютона, и химия Дальтона, и другие работы множества ученых. Историк Пол Кеннеди из Йельского университета объясняет стремительный подъем Европы еще одним фактором: непрерывные войны между почти одинаковыми по силе европейскими державами, ни одной из которых ни разу не удалось захватить власть над всем континентом. Монархи, непрерывно воюющие друг с другом, финансировали научные исследования и инженерные разработки, надеясь когда-нибудь удовлетворить

* Мусульманская религиозная община. — Прим. пер.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

свои территориальные амбиции. Наука тогда была не просто интеллектуальным упражнением, но способом создания новых типов оружия и новых способов зарабатывания денег.

Постепенно подъем европейской науки и техники привел к ослаблению мощи Китая и Османской империи. Мусульманская цивилизация, веками процветавшая за счет промежуточного положения и торгового посредничества между Востоком и Западом, впервые покачнулась, когда европейские моряки проложили торговые пути в Новый Свет и на тот же Восток — особенно вокруг Африки, в обход Ближнего Востока. А Китай вдруг обнаружил себя под дулами пушек европейских канонеров, которые по иронии судьбы вовсю пользовались двумя epochальными китайскими изобретениями — порохом и компасом.

Ответ на вопрос «Что же случилось?» очевиден. Случились наука и техника. Наука и техника — двигатели процветания. Разумеется, каждый волен игнорировать их — но под свою ответственность. Мир не станет стоять на месте только потому, что вы читаете религиозный текст. Если вы не сумеете овладеть последними достижениями науки и техники, это сделают ваши конкуренты.

Власть над четырьмя силами

Но как именно сумела Европа — темная лошадка — после столетий невежества внезапным рывком обогнать Китай и мусульманский мир? Здесь сыграли роль как социальные, так и технологические факторы.

При анализе мировой истории после 1500 г. становится ясно, что Европа в тот момент была готова к новому большому скачку, чему способствовали упадок феодализма, подъем класса торговцев и свежие ветры Возрождения. Однако физики рассматривают этот великий переход через призму четырех фундаментальных взаимодействий, которые правят Вселенной. Эти четыре силы лежат в основе всего, что мы видим вокруг, —

БУДУЩЕЕ БОГАТСТВА

от машин, ракет и бомб до звезд и Вселенной в целом. Возможно, почву для перехода подготовили социальные перемены и новые тенденции, но без овладения секретами четырех фундаментальных взаимодействий Европе никогда не удалось бы выйти на передний план и выделиться среди других держав мира.

Первое взаимодействие, или первая сила, — это гравитация, которая удерживает нас на поверхности земли, не дает Солнцу взорваться и придает стабильность Солнечной системе. Второе фундаментальное взаимодействие — электромагнитная сила, которая освещает наши города, вращает двигатели, питает лазеры и компьютеры. Третье и четвертое взаимодействия — это слабые и сильные ядерные силы, которые не позволяют распасться ядрам атомов, зажигают звезды на небесах и порождают термоядерный огонь в центре нашего Солнца. Все четыре фундаментальных взаимодействия были открыты в Европе.

Каждый раз, когда физикам удавалось обнаружить и понять действие одной из этих сил, история человечества меняла свой ход, и Европа идеально подходила для исследований и обретения новых знаний. Исаак Ньютон, наблюдая падение яблока и видя Луну в небе, задал себе вопрос, который навсегда изменил историю цивилизации: если яблоко падает, то почему не падает Луна? Блестящее озарение, посетившее его в возрасте 23 лет, помогло понять, что яблоко заставляют падать на землю те же силы, что управляют движением планет и комет в небесах. Ньютон сумел применить только что придуманную им новую математику — дифференциальное и интегральное исчисление — для расчета траекторий движения планет и спутников и первым расшифровал небесную механику. В 1687 г. он опубликовал «Начала» — книгу, которая, пожалуй, принадлежит к числу важнейших научных трудов в истории человечества, оказавших наибольшее влияние на его историю.

Что еще важнее, Ньютон ввел в обиход новый способ мышления и законы механики, по которым можно рассчитать движение любых тел через действующие на них силы. Человек

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

перестал быть беспомощной игрушкой демонов и неведомых духов; теперь объекты двигались по строгим законам под действием четко определенных сил, которые можно было измерить и покорить. Возникла ньютонова механика, пользуясь которой ученые могли точно предсказать поведение машин; пришел черед парового двигателя и паровоза. Сложную динамику паровых машин и станков теперь, согласно законам Ньютона, можно было систематически разложить — винт за винтом, рычаг за рычагом. Так что закон тяготения, открытый Ньютоном, в значительной степени проложил путь европейской Промышленной революции.

Затем в XIX веке, опять же в Европе, Майкл Фарадей, Джеймс Клерк Максвелл и другие открыли второй вид фундаментального взаимодействия — электромагнетизм. Это событие тоже произвело в науке настоящую революцию. Томас Эдисон, построив генераторы на станции «Перл-стрит» в Нижнем Манхэттене и электрифицировав первую в мире улицу, открыл дорогу электрификации всей планеты. Сегодня из космоса ночная Земля выглядит очень празднично: целые континенты усеяны яркими пятнами освещенных городов. Любой инопланетянин, увидев это, мгновенно понял бы, что земляне поставили электромагнетизм себе на службу. Мы остро ощущаем свою зависимость от него всякий раз, когда в системе происходят сбои и мы на какое-то время остаемся без электричества. В одно мгновение мы оказываемся отброшенными в прошлое больше чем на 100 лет и попадаем в мир без кредитных карточек, компьютеров, электрических лампочек, лифтов, телевидения, радио, Интернета и т. д.

Наконец, ядерные силы, также открытые европейскими учеными, в настоящее время вновь меняют мир вокруг нас. Мы сегодня получили возможность не только раскрывать тайны небес и источники энергии звезд, но и заглянуть внутрь самих себя; медицина давно уже не обходится без физических знаний, связанных с ядерными силами: это различные

БУДУЩЕЕ БОГАТСТВА

виды томографии — и магнитно-резонансная, и аксиальная, и позитронно-эмиссионная; радиотерапия; ядерная медицина. Ядерные взаимодействия правят бал внутри атома и управляют заложенными там колоссальными силами, а потому могут в конце концов определить судьбу человечества. Что ждет нас: процветание и неограниченная энергия ядерного синтеза или смерть в ядерном аду?

БЛИЖАЙШЕЕ БУДУЩЕЕ (с настоящего момента по 2030 г.)

Четыре стадии развития техники

Удачное сочетание социальных перемен и овладения четырьмя типами фундаментальных взаимодействий вывело Европу на лидирующие позиции в мире. Но технологии динамичны, они то и дело меняются. Они рождаются, развиваются, расцветают и гибнут. Чтобы понять, как конкретные технологии в ближайшее время изменят мир, полезно посмотреть, как они подчиняются некоторым законам эволюции.

В развитии массовых технологий, как правило, можно выделить четыре основных этапа. В этом несложно убедиться, взглянув на историю бумаги, водопровода, электричества и компьютеров. На первом этапе продукты этой технологии обходятся так дорого, что их неусыпно охраняют. Бумага в виде папируса, изобретенная древними египтянами, и позже бумага, придуманная китайцами, тысячи лет назад были настолько драгоценны, что один папирусный свиток могли охранять десятки жрецов. Эта технология, хотя и была примитивной, дала мощный толчок развитию древней цивилизации.

Второй этап для бумаги наступил около 1450 г., когда Гутенберг изобрел способ печати подвижными литерами. Появились первые «личные книги»; человек мог приобрести для себя книгу, содержащую мудрость не одной сотни древних свитков. До Гутенберга во всей Европе едва насчитывалось 30 000 томов,

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

а к 1500 г. книг было уже девять миллионов; доступные книги оживили интеллектуальную жизнь Европы и стали мощным стимулом для Возрождения.

Но около 1930 г. для бумаги начался третий этап, когда ее стоимость упала невероятно. Возникли личные библиотеки, один человек мог владеть сотнями книг. Бумага превратилась в обычный потребительский товар, ее стали продавать тоннами. На этом этапе бумага была везде и нигде, она невидима и вездесуща. Теперь же мы находимся на четвертом этапе, когда бумага стала вопросом моды. Мы украшаем свой мир бумагой всевозможных расцветок, форм и размеров. Огромную часть городской свалки составляет именно бумага. Бумага прошла путь от тщательно охраняемой драгоценности до мусора.

То же можно отнести и к водопроводу. В древности, на первом этапе, вода была настолько драгоценна, что одним колодцем приходилось пользоваться целой деревне. Так продолжалось тысячи лет, и только в начале XX в., на втором этапе, постепенно начал появляться настоящий водопровод. После Второй мировой войны для водопровода начался третий этап, вода стала дешевой и доступной все более увеличивающемуся среднему классу. Сегодня вода находится на четвертом этапе, это вопрос моды; вода доступна в самых разных формах, размерах и приложениях. Мы украшаем свой мир водой в виде фонтанов и всевозможных инсталляций.

Электричество также прошло через вышеописанные стадии. После новаторских работ Томаса Эдисона и других на первом этапе целая фабрика могла работать с одной электрической лампочкой на одном электромоторе. После Первой мировой войны мы вступили во второй этап, когда многие могли себе позволить электрическое освещение и приборы с электромоторами. Сегодня электричество всюду и нигде, даже само слово употребляется все реже. На Рождество мы развешиваем сотни мигающих лампочек, украшая свои дома. Мы уверены, что электричество скрывается в стенах, что оно вездесуще.

БУДУЩЕЕ БОГАТСТВА

И электричество — вопрос моды; оно освещает Бродвей волшебными огнями и украшает наш мир.

На четвертом этапе и вода, и электричество превратились просто в удобства. Они так дешевы и мы потребляем их так много, что и то и другое приходится измерять при помощи счетчиков.

Компьютеры повторяют ту же схему. Те компании, которые это понимают, развиваются и процветают; те, что не понимают, приходят в упадок и близки к банкротству. В 1950-е гг., на первом этапе, IBM со своим универсальным компьютером доминировала на рынке. Один такой компьютер стоил настолько дорого, что им приходилось пользоваться совместно сотне ученых и инженеров. Однако руководство IBM недооценило закон Мура, и в 1980-е гг., когда начался второй этап с его персональными компьютерами, компания едва не обанкротилась.

Но позже и производители персональных компьютеров успокоились. Они готовы были наполнить мир персональными компьютерами, никак не связанными между собой, и наступление третьего этапа, эры интернет-технологий, застало их врасплох. Сегодня изолированный, не подключенный ни к чему компьютер можно найти разве что в музее.

В будущем компьютеры тоже ждет четвертый этап, на котором они станут модным аксессуаром. Мы будем украшать компьютерами свой мир, а слово «компьютер» постепенно исчезнет. Большую часть городской свалки будет составлять уже не бумага, а электронные чипы. Будущее компьютера — исчезнуть и превратиться в простое удобство, продаваемое, подобно воде или электричеству. Компьютерные чипы постепенно исчезнут из нашей жизни, а вычисления будут проводиться «в облаках».

Между тем компьютер и Интернет все еще развиваются. Экономист Джон Стил Гордон (John Steele Gordon) на вопрос о том, закончилась ли компьютерная революция, ответил: «О господи, конечно нет! Пройдет еще лет сто, пока она полностью исчерпает свои возможности, как это произошло с паровым

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

двигателем. Сейчас Интернет примерно в том же положении, в каком были железные дороги в 1850 г. Это только начало».

Следует отметить, что не все технологии достигают третьего и четвертого этапов. К примеру, возьмем локомотивы. Для механизированных средств передвижения первый этап начался в начале XIX века с появлением паровозов. Один паровоз мог перевозить сотню человек. Второй этап начался в начале XX века с появлением «персонального локомотива», иначе известного как автомобиль. Но и локомотив, и автомобиль (условно говоря, движущийся ящик на рельсах или колесах) за последние десятилетия принципиально не изменились. Появились лишь некоторые улучшения, такие как более мощный и эффективный двигатель или интеллектуальная система управления. Так что технологии, которые не могут вступить в третий и четвертый этапы развития, будут просто улучшаться; во многих из них появятся чипы, которые сделают механизмы «разумными». Тем не менее ясно, что некоторые технологии проходят полный цикл развития, а другие останавливаются на промежуточной стадии, лишь продолжая потихоньку развиваться.

Почему возникают и лопаются пузыри?

Но сегодня, после серьезнейшего кризиса 2008 г. довольно громко звучат голоса тех, кто считает, что прогресс — иллюзия, что человечеству следует вернуться к простой жизни прошлого, что с системой что-то принципиально не так.

Если как следует вспомнить историю, несложно заметить, что время от времени капиталистическая система как будто сама по себе, без всякой причины порождает гигантские пузыри, которые затем лопаются со страшным треском и грохотом. Эти события кажутся беспричинными и порождаются, на первый взгляд, несчастливой случайностью и человеческой глупостью. Историки и экономисты успели написать немало томов

БУДУЩЕЕ БОГАТСТВА

о крахе 2008 г., пытаясь разобраться в этом событии и перечисляя множество причин: это и человеческая природа, и алчность, и коррупция, и недостатки законодательства, и слабость контроля, и бог знает что еще.

Однако я смотрю на этот великий кризис иначе, через призму науки, — ведь в долгосрочной перспективе именно наука обеспечивает процветание. К примеру, *Oxford Encyclopedia of Economic History* цитирует исследования, которые «объясняют 90% роста доходов в Англии с США после 1780 г. технологическими новинками, а не простой концентрацией капитала».

Без науки мы мгновенно оказались бы отброшены на тысячелетие назад, в туманное прошлое. Но наука не однородна; она развивается волнами. Один-единственный плодотворный прорыв (такой как изобретение парового двигателя, электрической лампочки или транзистора) часто влечет за собой каскад вторичных изобретений, которые в свою очередь вызывают настоящую лавину инноваций и прогресса. Поскольку все перечисленное порождает общественное богатство, волны открытий должны отражаться и в экономике.

Первую великую волну такого рода вызвал паровой двигатель, за которым последовал и локомотив. Сила пара питала Промышленную революцию, перевернувшую не только промышленность как таковую, но и общество. Сила пара породила сказочные богатства. Но при капитализме богатство никогда не лежит без дела, оно обязательно должно работать. Капиталисты неустанно думают о следующем прорыве и по мере сил охотятся на него; они готовы вкладывать накопленное богатство в еще более спекулятивные схемы, иногда с катастрофическими результатами.

В начале XIX века значительная часть излишков богатства, порожденного промышленной революцией, была вложена в акции локомотивных компаний на Лондонской бирже. Строго говоря, начал формироваться пузырь: на Лондонской бирже вдруг появились десятки локомотивных компаний. Вирджиния

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Пострел (Virginia Postrel), бизнес-комментатор *The New York Times*, пишет: «Сто лет назад половина ценных бумаг, зарегистрированных на Нью-Йоркской бирже, была сосредоточена в железнодорожных компаниях». Но железные дороги и локомотивы для них в тот момент только начали развиваться, и пузырь оказался нестабильным; в конце концов он лопнул, породив крах 1850 г. — одну из крупнейших биржевых катастроф в истории капитализма. За ним последовала серия миникризисов, которые происходили едва ли не каждые десять лет; причина была все та же — избышек средств, порожденных Промышленной революцией.

В этом есть своеобразная ирония: расцвет железных дорог пришелся на 1880-е и 1890-е гг. Получается, что причиной краха 1850 г. стала спекулятивная лихорадка и избышек капитала, созданный наукой, а настоящая работа, в результате которой мир покрылся густой сетью железных дорог, продлилась намного дольше и заняла не одно десятилетие.

Томас Фридман (Thomas Friedman) пишет: «В XIX веке в Америке был железнодорожный бум, пузырь и крах... Но этот пузырь, даже лопнув, оставил Америке инфраструктуру железных дорог, сделавших трансконтинентальные путешествия и перевозки намного проще и дешевле».

Капиталисты не усвоили урок, и вскоре цикл повторился. Прокатилась вторая волна технической революции, движущей силой которой на этот раз стали электричество Эдисона и автомобили Форда. Электрификация производства и быта, а также широкое распространение «модели Т» снова породили сказочные богатства. Как всегда, излишки капитала надо было куда-то вкладывать. В данном случае они поступали на биржу, порождая пузырь из потребительских и автомобильных ценных бумаг. Люди благополучно забыли урок 1850 г., ведь все это случилось 80 лет назад, в туманном прошлом. В период с 1900 по 1925 г. число автомобильных компаний, появившихся из ниоткуда, достигло 3000, и рынок, естественно, не смог

БУДУЩЕЕ БОГАТСТВА

их все прокормить. Пузырь опять оказался нестабильным. Поэтому — и по другим причинам — он лопнул в 1929 г., породив Великую депрессию.

Но ирония заключается в том, что дорожное строительство и электрификация Америки и Европы произошли уже в основном после краха, в 1950-е и 1960-е гг.

Недавно мы были свидетелями третьей волны научной революции — прихода высоких технологий в виде компьютеров, лазеров, спутников, Интернета и всевозможной электроники. Сказочные богатства, порожденные этими высокими технологиями, надо было куда-то вкладывать. В данном случае излишек средств пошел в недвижимость, породив очередной громадный пузырь. Цены на недвижимость подскочили до небес, люди начали занимать деньги под стоимость своих домов, используя их как копилки и ускоряя тем самым рост пузыря. Беспринципные банкиры подпитывали этот пузырь, с готовностью раздавая ипотечные кредиты. Люди опять забыли уроки 1850 и 1929 гг. — после одного краха прошло уже 160, после другого 80 лет. Как обычно, пузырь получился неустойчивый; результат — кризис 2008 г. и сильнейший экономический спад.

Томас Фридман пишет: «Начало XXI века стало свидетелем бума, пузыря и, наконец, краха финансовой сферы. Но я боюсь, что после него останутся только куча пустых кондоминиумов во Флориде, которые вообще не надо было строить, потрепанные частные самолеты, которые богачи уже не смогут себе позволить, и недействительные контракты с деривативами, которые никто уже не в состоянии будет понять».

Но несмотря на все глупости, которыми сопровождался недавний крах, ирония заключается в том, что время полной компьютеризации нашего мира и объединение его в одну информационную сеть наступит после краха 2008 г. Высший подъем информационной революции еще впереди.

В связи с этим возникает следующий вопрос: какой будет четвертая волна? Возможно, это будет какая-то комбинация ис-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

кусственного интеллекта, нанотехнологий, телекоммуникаций и биотехнологий. Как и в предыдущих циклах, можно рассчитывать, что на развитие ситуации уйдет еще лет восемьдесят. Остается только надеяться на то, что в 2090 г. люди станут умнее и вспомнят уроки истории.

СЕРЕДИНА ВЕКА (2030–2070 гг.)

Победители и проигравшие: профессии

Развиваясь, технологии изменяют экономическую ситуацию и иногда нарушают социальное равновесие. Вообще, в любой революции есть победители и проигравшие. Информационная революция выявит своих победителей и неудачников где-то к середине текущего столетия. Давно прошли те времена, когда в каждой деревне обязательно был кузнец и тележных дел мастер. Более того, нам совсем не жаль многих ушедших профессий. Но вопрос вновь стоит остро: какие профессии будут процветать в середине века? Как развитие техники изменит наши трудовые привычки?

Ответить на первый из этих вопросов можно, задав еще один простой вопрос: чем роботы уступают человеку? Как мы уже видели, развитие искусственного интеллекта сдерживают две фундаментальные проблемы: распознавание образов и здравый смысл. Вывод прост: в будущем уцелеют в основном те профессии, которые не под силу роботам, — те, в которых требуются именно эти два качества.

Среди рабочих профессий пострадают те, что требуют повторения несложных операций (к примеру, сборщики на автомобильном конвейере), поскольку как раз в этом роботы великолепны. Компьютеры производят впечатление разумности, но только потому, что умеют складывать числа в миллионы раз быстрее, чем мы. Мы нередко забываем, что компьютер — всего лишь очень сложный арифмометр и лучше всего он умеет выполнять именно повторяющиеся операции. Именно поэтому

БУДУЩЕЕ БОГАТСТВА

первыми от компьютерной революции пострадали сборщики на автозаводах. Это означает, что любая работа, которую можно представить как последовательность повторяющихся алгоритмизируемых операций, со временем будет выполняться роботами.

Как ни удивительно, среди рабочих профессий немало таких, которые не только уцелеют, но и будут процветать в результате компьютерной революции. Лучше всех будут чувствовать себя те, чья работа не состоит из повторяющихся операций и требует распознавания образов. Профессии мусорщика, полицейского, строительного рабочего, садовника и сантехника наверняка будут существовать и в будущем. Мусорщик должен распознать мешок с мусором, погрузить его в машину и отвезти на свалку. Но мусор требует сортировки. На стройке каждая операция выполняется своими инструментами, по чертежам и указаниям архитектора и дизайнера. Каждая стройка и каждая строительная операция уникальны. Полицейский должен анализировать ситуацию, распознавать самые разные правонарушения в самых разных обстоятельствах. Более того, он должен понимать мотивы и методы преступников, а это не под силу ни одному компьютеру. Точно так же каждый сад и каждая ванная комната уникальны; садовник и сантехник выполняют множество разных операций и пользуются множеством разных инструментов.

Среди служащих проиграют в первую очередь те, кто занят посреднической деятельностью и всевозможным учетом. Это агенты и брокеры нижнего звена, кассиры и банковские служащие, бухгалтеры и т. п. — в общем, те, кто обеспечивает «вращение шестеренок капитализма». Уже сегодня можно купить авиабилет через Интернет, без всяких посредников.

Компания Merrill Lynch, к примеру, не раз публично заявляла, что никогда не примет онлайн-режим биржевой торговли, но всегда будет вести дела традиционным способом. Джон Стеффенс (John Steffens), глава брокерского отделения фир-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

мы, однажды сказал: «Модель инвестирования “сделай сам”, интернет-торги и прочее следует рассматривать как серьезную угрозу финансовой жизни Америки». Однако в 1999 г. рынок заставил компанию ввести у себя онлайн-операции. «Редко когда в истории бизнес-лидеру приходилось разворачиваться кругом и буквально за один день принимать совершенно новую, по сути, бизнес-модель», — написал тогда Чарльз Гаспарино (Charles Gasparino) на новостном сайте ZDNet.

Это означает также, что корпоративная пирамида должна будет значительно «похудеть». Если топ-менеджеры могут взаимодействовать непосредственно с продавцами и представителями на местах, пропадает нужда в посредниках, задача которых — передавать приказы сверху вниз и обеспечивать исполнение. Фактически сокращение подобных должностей началось одновременно с появлением в офисе первого персонального компьютера.

Что же делать посредникам? Им придется повысить свою ценность для работодателя, привнеся в работу то единственное, чего нет у роботов: здравый смысл.

Представим, к примеру, что в будущем можно будет приобрести дом через Интернет при помощи наручных часов или контактных линз. Но никто не будет покупать таким образом дом, поскольку покупка дома — одна из важнейших финансовых операций, которую человек осуществляет в жизни. Перед такой покупкой хочется поговорить с человеком, который рассказал бы вам, где рядом есть хорошие школы, где низок уровень преступности, как работает канализация, в конце концов. Хороший агент по недвижимости расскажет покупателю обо всем, поможет выбрать — и получит достойное вознаграждение.

Точно так же масса биржевых брокеров низшего звена лишилась работы из-за развития онлайн-сервиса; тем не менее услуги брокера, способного дать взвешенный и разумный совет, всегда будут пользоваться спросом. Рабочие места в биржевой

БУДУЩЕЕ БОГАТСТВА

торговле будут таять и дальше, останутся лишь те, кто сможет предложить что-то по-настоящему ценное: мудрость лучших аналитиков рынка и экономистов, собственное мастерство и опыт.

Итак, среди служащих выигрывают те, кто может привнести в работу полезный здравый смысл. Речь идет о профессиях, связанных с искусством, театром, эстрадой, программированием, лидерством, аналитикой, наукой и творчеством — со всем тем, что «делает нас людьми».

Люди искусства не лишатся работы, ведь во всем, что касается «креатива», Интернет ненасытен. Компьютеры хороши, когда надо что-то скопировать или помочь техническими средствами, но создавать новые формы искусства им не под силу. Искусство вдохновляет, ставит в тупик, пробуждает эмоции и возбуждает; компьютер на это не способен, поскольку ни одна из этих задач не решается без здравого смысла.

Романисты, сценаристы и драматурги тоже не останутся без работы, поскольку достоверное описание человеческих чувств и конфликтов, побед и поражений также не под силу компьютеру, как не под силу и вообще моделирование человеческой природы, понимание мотивов и намерений. Компьютер не может определить, что заставляет человека плакать или смеяться, поскольку сам он ни того ни другого не умеет и не понимает, что смешно, а что грустно.

Люди, профессии которых связаны с человеческими отношениями, к примеру, юристы, также не останутся без работы.

Конечно, робоюрист сможет ответить на простейшие вопросы по законам и юридической процедуре, но законы постоянно изменяются вместе с социальными стандартами и моралью. В конечном итоге интерпретация закона сводится к ценностной оценке, в которой компьютеры не сильны. Если бы закон всегда был понятен и неизменен, а его толкования четки и однозначны, суды, судьи и присяжные вообще не были бы нужны. Робот не может заменить присяжных, потому что те должны представ-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

лять здравый смысл и моральные принципы определенной группы людей, а они меняются со временем. Так, судью Верховного суда Поттера Стюарта (Potter Stewart) однажды попросили дать определение порнографии. Он не смог этого сделать, но сказал: «Увидев, я ее без труда узнаю».

Кроме того, по закону роботам вряд ли будет разрешено участвовать в отправлении правосудия, поскольку в нем соблюдается фундаментальный принцип: присяжными должны быть обычные люди, уважаемые члены общества. Поскольку компьютеры нам не ровня, для них эта область будет закрыта.

На первый взгляд закон может показаться строгой системой с четкими формулировками и определениями. Но это лишь на первый взгляд, поскольку толкование как определений, так и положений закона постоянно меняется. Конституция США, к примеру, представляется четким и однозначным документом, тем не менее Верховный суд то и дело делится практически пополам и не может прийти к единому мнению. Ему непрерывно приходится заново интерпретировать каждое слово и каждую фразу Конституции. Человеческие ценности очень изменчивы; в этом несложно убедиться, если вспомнить, что в 1857 г. Верховный суд США постановил, что рабы никогда не станут гражданами Соединенных Штатов. Чтобы изменить это решение, потребовалась Гражданская война и смерть тысяч людей.

Способность руководить и быть лидером в будущем также сохранит свою ценность. Лидерство — это умение оценить всю имеющуюся информацию, все варианты и точки зрения и принять решение, которое лучше всего соответствует поставленной цели. Быть лидером очень непросто, ведь лидер должен вдохновлять и вести за собой работников-людей, каждый из которых обладает собственными достоинствами и недостатками. Чтобы быть хорошим руководителем и лидером, нужно понимать и разбираться как в человеческой природе, так и в рыночных механизмах и во множестве других вещей. Это не под силу ни одному компьютеру.

Будущее развлечений

Все это означает, что целые области человеческой деятельности, такие как индустрия развлечений, ждут глубочайшие перемены. К примеру, музыкальное искусство с незапамятных времен опиралось на отдельных музыкантов, которые путешествовали из города в город и выступали перед публикой. Бродячие актеры и музыканты всю жизнь проводили в пути, и жизнь эта была нелегкой. Да и вознаграждался их труд очень скромно. Освященные веками обычаи изменились в одночасье с изобретением Томасом Эдисоном нового чуда техники — фонографа. Внезапно записи знаменитого певца стали доступны миллионам, а его доходы невероятно выросли. Всего за одно поколение рок-певцы стали символом успеха и богатства. Звезды, которые всего поколение назад тихо прожили бы жизнь простыми официантами, вдруг превратились в кумиров молодежи.

К несчастью, музыкальная индустрия не прислушалась к предсказаниям ученых, твердивших о том, что когда-нибудь музыку можно будет без труда передавать через Интернет, подобно электронным письмам. Крупные компании, вместо того чтобы готовиться к онлайн-продажам и учиться зарабатывать деньги в Интернете, пытались привлечь к суду фирмы-выскочки, предлагавшие музыку гораздо дешевле, чем на лазерных дисках. Занятие это было так же безнадежно, как попытка остановить океанский прилив. Именно недальновидностью объясняется нынешняя неразбериха в музыкальной индустрии.

(Однако в этом есть и хорошая сторона. Сегодня неизвестный исполнитель может подняться на самую вершину популярности в обход фактической цензуры крупных музыкальных компаний. В прошлом музыкальные магнаты практически сами выбирали кандидата на роль будущей звезды. Очевидно, в будущем выбор лучших музыкантов будет проходить более демократично — через рыночные механизмы и технологии, а не по воле менеджеров шоу-бизнеса.)

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Газеты оказались сейчас перед той же дилеммой. Традиционно они зарабатывали не столько на продаже тиража, сколько на рекламе, особенно в тематических рекламных рубриках. Но сейчас каждый может скачать из Интернета свежие новости совершенно бесплатно и рассказать о себе на любом из множества сайтов частных объявлений. Результат закономерен: у газет по всей стране снижаются объемы и тиражи.

Но этот процесс не может продолжаться вечно. В Интернете много случайного шума и всякой чепухи... Там мнимые пророки ежедневно пугают свою аудиторию, а всевозможные непризнанные гении пытаются протолкнуть в массы свои антинаучные идеи; рано или поздно люди начнут ценить новое качество: разум и здравый смысл. Случайные факты плохо коррелируют с разумом; устав от демагогии пустопорожних блоггеров, люди обратятся к солидным сайтам, предлагающим этот редкий товар.

Экономист Хэмиш МакРей (Hamish McRae) говорит: «На практике огромная часть этой “информации” представляет собой полную чушь, вариант “макулатурной почты” для интеллектуалов. — Однако он утверждает далее: — Здравый смысл и дальше будет высоко цениться: успешные финансовые аналитики, к примеру, принадлежат к самым высокооплачиваемым специалистам в мире».

Матрица

Но какая судьба ожидает голливудских актеров? Неужели знаменитости, обеспечивающие кассовый успех и неизменно привлекающие внимание публики, вдруг окажутся в очереди безработных? Последние успехи компьютерной анимации настолько велики, а качество изображения человеческого тела настолько повысилось, что в это почти можно поверить. Мультяшные герои обретают объем и начинают отбрасывать тень. Так неужели актеры и актрисы скоро станут не нужны?

Вероятно, этого все же не произойдет. В компьютерном моделировании человеческого лица есть фундаментальные

БУДУЩЕЕ БОГАТСТВА

проблемы. Человек в процессе эволюции научился различать лица — от этого подчас зависела его жизнь. Нашим предкам приходилось мгновенно решать, друг перед ними или враг. Мы научились за несколько секунд определять возраст, пол, силу и настроение человека. Те, кто не освоил эту науку, просто не выжили и не смогли передать свои гены по наследству. Так что человеческий мозг значительную долю своей мощности тратит на распознавание и оценку лиц.

Более того, большую часть своей эволюционной истории люди, не умея еще говорить, общались между собой жестами и языком тела и очень внимательно ловили малейшие изменения выражения лица. Но компьютеры пока плохо умеют распознавать даже простые объекты; еще хуже им удается изображение и анимация правдоподобного человеческого лица. Дети, к примеру, мгновенно узнают, настоящее перед ними на экране лицо или компьютерная симуляция. (Вспомним Принцип пещерного человека. Из настоящего кино с любимым актером и мультфильма с компьютерной анимацией мы, как правило, выбираем первое.)

Тело моделировать на компьютере гораздо проще, чем лицо. Вообще, при создании реалистичных монстров и фантастических существ в фильмах Голливуд немного хитрит. Какой-нибудь актер надевает на себя обтягивающий комбинезон с датчиками движения на суставах; при каждом движении соответствующий датчик посылает сигнал в компьютер, который заставляет нарисованную фигурку проделывать на экране в точности те же движения, которые совершает актер. Примерно так снимался «Аватар».

Я однажды выступал на конференции, которую спонсировала Ливерморская национальная лаборатория, где разрабатывается ядерное оружие, и за обедом оказался за одним столом с человеком, принимавшим участие в съемках фильма «Матрица». Он признался, что на создание поразительных спецэффектов у них ушло огромное количество машинного времени.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Одной из самых сложных сцен была сцена полета на вертолете. Вообще, сказал он, если бы понадобилось, они могли нарисовать в подробностях целый фантастический город. Но достоверно смоделировать человеческое лицо им не под силу. Дело в том, что свет, попадая на лицо, рассеивается во всех направлениях в зависимости от текстуры кожи. И для по-настоящему реалистичного изображения компьютеру потребовалось бы отследить движение каждого фотона. Поэтому каждую точку на коже лица пришлось бы описывать сложной математической функцией — настоящая головная боль для любого программиста.

Я заметил, что все это очень напоминает мою специальность, физику высоких энергий. В ускорителях элементарных частиц мы создаем мощные пучки протонов и направляем их на мишень; в результате обломки ядер разлетаются во всех направлениях. Мы вводим специальную математическую функцию (так называемый форм-фактор), описывающую движение каждой частицы.

Я спросил полшутя, нет ли связи между человеческим лицом и физикой частиц высоких энергий? Есть, ответил он. Компьютерные аниматоры используют при создании лиц на экране тот же математический аппарат, который работает и в физике высоких энергий! Мне никогда не приходило в голову, что с помощью заумных формул, которыми пользуемся мы, физики-теоретики, когда-нибудь, возможно, удастся решить проблему моделирования человеческого лица. Получается, что человек распознает лица примерно так же, как мы, физики, анализируем треки элементарных частиц.

ДАЛЕКОЕ БУДУЩЕЕ (2070–2100 гг.)

Каким станет капитализм

Новые технологии, о которых мы говорили в этой книге, настолько мощны, что к концу столетия изменят человеческое общество и даже экономическую систему — капитализм. Зако-

БУДУЩЕЕ БОГАТСТВА

ны спроса и предложения все те же, но расцвет науки и техники изменил капитализм Адама Смита во многих отношениях — от способа распределения до природы капитала. Вот несколько самых очевидных примеров.

• Идеальный капитализм

Капитализм Адама Смита основан на законах спроса и предложения: цена стабилизируется, когда спрос и предложение на какой-то товар выравниваются. Если товар редок и пользуется спросом, цена на него растет. Но потребитель и производитель владеют лишь ограниченной информацией о спросе и предложении на товар, поэтому цена на него может варьироваться в широких пределах. Так что капитализм Адама Смита несовершенен. В будущем, однако, ситуация будет постепенно меняться.

«Идеальный капитализм» — это когда производитель и потребитель владеют полной информацией о рынке и цены на товар совершенно стабильны и полностью обоснованы. К примеру, в будущем потребитель в любой момент сможет заглянуть в Интернет при помощи своих очков или контактных линз и получить необходимую информацию о ценах и качестве. Уже сейчас можно найти в Интернете, предположим, авиабилеты по оптимальным ценам. Со временем там можно будет получить полную информацию о любом товаре в мире. При помощи интернет-очков, настенного экрана или сотового телефона потребитель в любой момент сможет узнать о товаре все, что захочет. Так, в продуктовом магазине Интернет при помощи контактных линз подскажет вам, стоит ли покупать данный продукт по указанной цене. Преимущество здесь явно у потребителя, поскольку он сможет мгновенно узнать о продукте все — его историю, отзывы о каче-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

стве, цену относительно других точек продажи, его сильные и слабые стороны.

Производитель тоже кое-что выиграет: он сможет без особого труда и дополнительных затрат выяснять вкусы и потребности потребителей, да и сравнительный анализ цен на аналогичные товары ему не помешает. Установить разумные цены на свой товар будет намного проще. Однако в целом в выигрыше останется потребитель, который мгновенно сможет получать сравнительные данные о любых продуктах и который всегда заинтересован в минимальной цене. Производителю придется реагировать на постоянно изменяющиеся требования потребителя.

• От массового производства к массовой кастомизации

Основная черта нашей эпохи — массовое производство потребительских товаров. Генри Форд когда-то произнес знаменитую фразу о том, что клиент может приобрести форд модели Т любого цвета, если, конечно, он будет черным. Массовое производство многократно снижает цены, заменяя неэффективную старую систему гильдий и ручного труда. Но компьютерная революция изменит и это.

Сегодня, если клиент видит в продаже платье идеальной модели и чудесного цвета, но не того размера, покупка не состоится. Однако в будущем мы будем хранить точную 3D-мерку со своей фигуры на кредитной карточке или в электронном кошельке. Если понравившаяся модель одежды не подойдет по размеру, человек сможет отправить по электронной почте на фабрику свои размеры, и платье по ним будет тут же пошито. В будущем все будет прекрасно сидеть.

Сегодня массовая кастомизация непрактична: слишком дорого изготавливать новый продукт для одного клиен-

БУДУЩЕЕ БОГАТСТВА

та. Но когда все, включая клиентов и роботизированную фабрику, будут подключены к Интернету, производство товара по индивидуальному заказу по себестоимости сравняется с массовым производством.

• Массовые технологии как вопрос удобства

Когда технологии получают широкое распространение, как, к примеру, электричество или водопровод, они постепенно становятся привычным и естественным элементом жизни. Рыночные механизмы капиталистической системы усиливают конкуренцию и заставляют производителей снижать цены; технологии начинают продаваться как обычные бытовые удобства. Нас, потребителей, не интересует, откуда они берутся, кто и как их обеспечивает; мы просто платим, когда нуждаемся в них. В эту категорию очень скоро попадет и компьютерное время. Набирают популярность так называемые «облачные технологии», где большая часть используемых компьютерных мощностей находится где-то в Интернете. Облачные вычисления превращают расчеты в аналог обычной коммунальной услуги — услуги, за которую мы платим только тогда, когда в ней нуждаемся, и о которой забываем сразу же после этого. Сегодня все обстоит иначе. В большинстве своем каждый сам печатает и обрабатывает свои тексты, сам рисует на настольном или портативном компьютере, а Интернетом пользуется только тогда, когда нужно найти какую-то информацию. В будущем мы сможем постепенно вообще исключить компьютер из этой цепочки и получать информацию непосредственно из Интернета, а затем платить за использованное время. Всевозможные расчеты станут обычной услугой, потребление которой придется измерять, как потребление воды или электричества. Мы будем жить в мире, где все вокруг — бытовые приборы, мебель, одежда и т. п. —

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

будет разумным; когда нам потребуется от вещей что-то конкретное, мы будем разговаривать с ними. Повсюду будут скрытые интернет-экраны, а клавиатура станет появляться всякий раз по первому требованию. Функция заменит форму, так что, как ни странно, компьютерная революция в конце концов приведет к исчезновению компьютеров «в облаках».

• Точный прицел на потребителя

Мы знаем, что компании всегда размещали рекламу в газетах, на радио, телевидении и т. п., часто не имея ни малейшего понятия о ее действенности. Эффективность рекламной кампании можно было оценить только по росту продаж или увеличению числа клиентов. В будущем компании получат возможность узнавать почти мгновенно, сколько людей скачало информацию с их сайта или посмотрело в Интернете на их товары. К примеру, если ваше интервью появится на интернет-радиосайте, можно будет точно узнать, сколько человек вас слушали. Компании получат возможность прицельно и очень точно выбирать свою аудиторию.

(Здесь, однако, встает другой вопрос: тонкий вопрос конфиденциальности частной жизни, который в будущем, по всей видимости, станет одним из острейших. В прошлом были опасения, что компьютерные технологии породят Большого Брата. В романе Джорджа Оруэлла «1984» на Земле царит тоталитарный режим: всюду шпионы, все свободы подавлены, а жизнь представляет собой бесконечную цепь унижений. Когда-то Интернет и правда мог превратиться в подобного вездесущего шпиона. Но в 1989 г., с падением советского блока, Национальный научный фонд, напротив, открыл его, превратив из в первую очередь военного инструмента во всемирную сеть, объединившую в себе и университеты, и коммерческие предприятия. 1990-е гг. стали

БУДУЩЕЕ БОГАТСТВА

свидетелями настоящего взрыва интернет-технологий. Сегодня Большой Брат невозможен, зато настоящей проблемой стали «маленькие братья» — сплетники, мелкие мошенники, желтая пресса и даже корпорации, которые собирают в сети данные, пытаются определить наши личные вкусы и предпочтения. В следующей главе мы поговорим о том, что эта проблема в ближайшее время не решится, а будет лишь расти. Скорее всего, начнется бесконечная игра в кошки-мышки между разработчиками программного обеспечения для защиты персональных данных и теми, кто создает программы для взлома первых.)

От капитализма вещей к интеллектуальному капитализму

До сих пор мы говорили только о том, что новые технологии меняют способ функционирования капитализма. Но действуют ли они на природу самого капитализма, и если действуют, то как именно? Все потрясения, порождаемые компьютерной революцией, можно охарактеризовать одной фразой: переход от вещного капитализма к интеллектуальному.

Во времена Адама Смита богатство измерялось в потребительских товарах. Цены на них постоянно колеблются, но в среднем цены последние 150 лет стабильно падали. Сегодня вы можете позволить себе завтрак, которого сто лет назад не мог позволить себе даже король Англии. Экзотические деликатесы со всего мира сегодня продаются в любом супермаркете, и никого это не удивляет. Падение потребительских цен объясняется множеством различных факторов, как то: лучше организованное массовое производство, контейнеризация перевозок, связь и конкуренция.

(К примеру, сегодняшние школьники с трудом понимают, почему Колумб готов был рисковать жизнью и здоровьем ради

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

поиска более коротких торговых путей к пряностям Востока. Почему он не мог просто пойти в супермаркет, спрашивают дети, и купить пакетик орегано? Приходится объяснять, что во времена Колумба пряности были невероятно дороги и ценились очень высоко, потому что помогали сохранять мясо и к тому же скрывали вкус подпорченных продуктов — ведь холодильников и консервов в те времена не было. Иногда даже королям и императорам приходилось есть на обед протухшее мясо. Не было ни машин-рефрижераторов, ни контейнеров, ни подходящих судов для перевозки пряностей через океан.)

На смену капитализму материальных ценностей идет капитализм интеллектуальный. Интеллектуальный капитал — это в значительной мере именно то, чего пока не могут дать роботы и искусственный интеллект: распознавание образов и здравый смысл. Как сказал экономист из MIT Лестер Туроу, «сегодня знания и умения — единственный источник конкурентного преимущества... Сегодня оно там, где находятся лучшие мозги. Все остальное не считается».

Но почему этот исторический переход потрясает основы капитализма? Очень просто: мозги не подлежат массовому производству. Любую технику можно производить массово и продавать тоннами, но с человеческим мозгом ничего подобного проделать нельзя. Это значит, что валютой будущего будет здравый смысл. В отличие от потребительских ценностей, интеллектуальный капитал можно получить только через рождение, воспитание и обучение человеческого существа.

К примеру, в будущем программное обеспечение станет гораздо более важным, чем компьютерное и прочее «железо». Микросхемы будут продаваться контейнерами, их цена продолжит стабильно падать, но программное обеспечение по-прежнему придется создавать человеку при помощи таких «сложных» инструментов, как карандаш и бумага. К примеру, файлы, которые хранятся на вашем компьютере, могут содержать ценные планы, рукописи и данные и потому стоить сотни тысяч долларов,

БУДУЩЕЕ БОГАТСТВА

но сам компьютер стоит всего несколько сотен. Конечно, программное обеспечение можно легко копировать и размножить в неограниченных количествах, но создание новой программы механизировать невозможно. Для этого необходима человеческая мысль.

Согласно британскому экономисту Хэмишу МакРею, «в 1991 году Британия первой из стран мира больше заработала на невидимом экспорте (услугах), чем на видимом».

Если доля производства в экономике США за последние десятилетия уменьшилась в несколько раз, доля сектора, включающего интеллектуальный капитализм (голливудские фильмы, музыкальная индустрия, видеоигры, компьютеры, телекоммуникации и т. п.), напротив, взлетела до небес. Переход от вещного капитализма к интеллектуальному происходит постепенно, он начался еще в прошлом веке, но с каждым десятилетием этот процесс ускоряется. Туроу пишет: «С поправкой на инфляцию цены на природные ресурсы с середины 1970-х до середины 1990-х гг. упали почти на 60%».

Некоторые государства это понимают. Возьмите послевоенную Японию, где нет почти никаких природных ресурсов; тем не менее сегодня ее экономика — одна из крупнейших в мире. Современное богатство Японии — свидетельство трудолюбия, предприимчивости и единства ее народа, а не результат продажи ее подземных богатств.

Увы, многие страны не осознают этой фундаментальной особенности и не готовят своих граждан к будущему, полагаясь вместо этого на материальные ценности. Это означает, что государства, богатые природными ресурсами, но не понимающие происходящего, в будущем, возможно, скатятся к бедности.

Цифровое расслоение?

Некоторые осуждают информационную революцию и говорят, что в будущем возникнет пропасть между «цифровыми богача-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

ми» и «цифровыми бедняками», т. е. между теми, кто имеет доступ к компьютерным мощностям, и теми, кто такого доступа не имеет. Эта революция, утверждают они, только расширит проблемные зоны и создаст новое неравенство, чреватое полным разрывом ткани общества.

Но это лишь очень узкий взгляд на реальную проблему. Компьютерные мощности удваиваются каждые полтора года, так что даже дети из бедных семей получают доступ к компьютеру. Давление среды и низкие цены вынуждают этих детей пользоваться компьютером и Интернетом. В одном из экспериментов были выделены средства на приобретение портативного компьютера в каждый класс школы. Несмотря на самые лучшие намерения экспериментаторов, программа, по общему признанию, провалилась. Во-первых, компьютер обычно стоял без дела где-нибудь в уголке, потому что учитель сам зачастую не знал, как с ним обращаться. Во-вторых, большинство учащихся имели доступ к компьютеру дома или через друзей и попросту игнорировали школьный лэптоп.

Однако настоящая проблема — это рабочие места. Рынок рабочей силы претерпевает перемены, и процветание в будущем ждет те страны, которые сумеют этим воспользоваться.

Для развивающихся стран единственная доступная стратегия — построить прочный фундамент при помощи материального производства, а затем воспользоваться им для перехода к интеллектуальному капитализму. Китай, к примеру, успешно идет по этому непростому пути: строит тысячи заводов и производит самые разные товары для мирового рынка, при этом используя полученные доходы для создания сектора услуг из сферы интеллектуального капитализма. 50% аспирантов-физиков в США — иностранцы (в основном потому, что в США просто не хватает собственных выпускников). Большинство иностранных аспирантов приехали из Китая и Индии. Некоторые из этих ребят уже вернулись на родину, чтобы создавать там совершенно новые интеллектуальные отрасли.

Неквалифицированные рабочие места

Переход к интеллектуальному капитализму значительно сократит количество неквалифицированных рабочих мест. Новые технологии, возникавшие в каждом столетии, создавали в экономике и в жизни людей чудовищные диспропорции. К примеру, в 1850 г. 65% американской рабочей силы было занято в сельском хозяйстве, а сегодня на фермах работает всего 2,4%. Сходные процессы будут происходить и в этом столетии.

В XIX веке в США хлынула новая волна иммиграции; быстро растущая экономика страны позволяла принять и занять всех этих людей. В Нью-Йорке, к примеру, иммигранты могли найти работу в легкой промышленности. В растущей экономике любой человек, независимо от уровня образования, мог найти себе занятие, было бы желание честно работать. Существовал как бы конвейер, принимавший иммигрантов из европейских гетто и трущоб и превращавший их в представителей процветающего среднего класса Америки.

Экономист Джеймс Грант (James Grant) сказал: «Продолжительная миграция рук и мозгов с полей на заводы, в офисы и классные комнаты — это постоянный рост производительности... Технический прогресс — оплот современной экономики. Но это верно уже почти 200 лет».

Сегодня значительной части неквалифицированных рабочих мест уже нет. Более того, изменился характер экономики. Многие неквалифицированные рабочие места с подачи корпораций, ищущих дешевую рабочую силу, переехали за океан. Заводы, где требовались рабочие, давно исчезли.

Много лет люди добивались для себя равных возможностей, без фаворитизма и дискриминации. Но если рабочие места можно одним росчерком пера отправить за океан, получается, что равные возможности теперь распространяются также на Китай и Индию. Это хорошо для тамошних рабочих, которые получают

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

возможность воспользоваться этим социальным конвейером, но в США может вызвать обратный эффект: города опустеют.

Потребитель от этого выигрывает. При глобальной конкуренции товары и услуги становятся дешевле, а производство и распределение — более эффективными. Попытки поддержать устаревший бизнес и слишком высокооплачиваемые рабочие места порождает лишь самоуспокоенность, напрасные расходы и неэффективность. Субсидирование неуспешных производств лишь оттягивает болезненный крах и только ухудшает ситуацию.

В секторе услуг высокооплачиваемые вакансии для квалифицированных работников зачастую остаются незанятыми из-за нехватки подготовленных специалистов. Система образования готовит недостаточно специалистов в той или иной области, так что компаниям приходится обходиться менее образованными сотрудниками. Корпорации остро нуждаются в работниках, которых система образования или вообще не готовит, или готовит слишком мало. Даже в кризисной экономике есть рабочие места, которые просто некому занять.

Тем не менее ясно одно. В постиндустриальной экономике многие рабочие места (в основном это рабочие должности на заводах) исчезли навсегда. Экономисты не один год играли мыслью о «реиндустриализации Америки», пока не поняли окончательно, что «жизнь невозможно повернуть назад». США и Европа уже несколько десятилетий как совершили переход от индустриальной в значительной степени экономики к экономике услуг, и с этим уже ничего нельзя поделать. Расцвет промышленности миновал навсегда.

Вместо того чтобы пытаться вернуть вчерашний день, нужно переориентировать экономику и вкладывать деньги в те ее сектора, которые максимально увеличивают интеллектуальный капитал. В XXI веке эта задача будет одной из самых сложных для правительства, и простых решений здесь быть не может. С одной стороны, она означает кардинальную перестройку всей системы образования, так чтобы любой человек

БУДУЩЕЕ БОГАТСТВА

мог сменить профессию, а выпускники не попадали бы прямо со школьной скамьи в очереди безработных. Интеллектуальный капитализм не означает работу только для программистов и ученых; в нем полно рабочих мест в самых разных видах деятельности, связанных с креативностью, художественными способностями, инновациями, лидерством и анализом — т. е. здравым смыслом. Образование должно готовить молодых людей к вызовам XXI в., а не превращать их в неудачников. В первую очередь пересмотра требуют программы обучения по естественным наукам. Учителям тоже придется проходить переподготовку, чтобы в технологическом обществе будущего оказаться на своем месте. (Очень печально, что в Америке на слуху старая поговорка: «Тот, кто может, делает. Тот, кто не может, учит».)

Лестер Туроу как-то сказал: «Успех или неудача зависят от того, насколько успешно страна совершает переход к интеллектуальному производству будущего, а не от размеров какого-то конкретного сектора экономики».

Это означает, что мы нуждаемся в новой волне предпринимателей-новаторов, которым предстоит создавать новую промышленность и новый капитал на базе новых технологических достижений. Необходимо разбудить энергию и энтузиазм этих людей и позволить им стать на рынке ведущей силой.

Страны победившие и проигравшие

К несчастью, многие страны не хотят идти по описанному пути, полагаясь вместо этого исключительно на материальные ценности. Но поскольку цены на товары в среднем падают уже 150 лет, экономики этих стран со временем будут сокращаться; в конце концов самым упорным из них суждено остаться на обочине пути, по которому пройдет весь мир.

Такой участи можно избежать; чтобы убедиться в этом, достаточно взглянуть на послевоенную Германию и Японию.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

За время жизни всего одного поколения они сумели выйти в первые ряды колоссов мировой экономики. Или взгляните на сегодняшний Китай, экономика которого несется вперед и растет на 8–10% в год, компенсируя 500 лет экономического застоя. Государство, которое прежде презрительно именовали «азиатским больным», еще через поколение пополнит ряды развитых стран.

У тех перечисленных обществ есть немало общих черт: это сплоченные страны с трудолюбивым народом, производящие вещи, которые пользуются в мире огромным спросом. Все они делают упор на образование, объединение страны и народа и на экономическое развитие.

Британский экономист и журналист МакРей пишет: «Прежние двигатели роста — земля, капитал, природные ресурсы — больше не имеют значения. Земля почти ничего не значит, потому что рост урожайности и промышленные технологии в сельском хозяйстве позволяют производить гораздо больше продуктов, чем требуется. Капитал потерял значение, потому что на перспективные проекты его можно получить в почти неограниченных количествах на международных кредитных рынках — разумеется, за определенную мзду... Эти количественные показатели, которые традиционно обеспечивали богатство наций, сменяются целой серией качественных черт, которые сводятся в конечном итоге к качеству, организованности, мотивированности и самодисциплине живущих в стране людей. Это подтверждается тем, что уровень человеческих умений и навыков в производстве, в секторе частных услуг и в общественном секторе приобретает все большее значение».

Однако не все государства идут по этому пути. Некоторыми странами руководят некомпетентные лидеры, другие настолько ограничены в культурном и этническом плане, что становятся просто недееспособными, третьи не производят ничего, что пользовалось бы спросом в мире. Вместо того чтобы инвестировать в образование, они вкладывают деньги в содержание огромных армий и производство оружия, цель которого — дер-

БУДУЩЕЕ БОГАТСТВА

жать в страхе народ и охранять привилегии власть имущих. Вместо того чтобы инвестировать средства в инфраструктуру и ускорять индустриализацию страны, они увязают в коррупции и делают все, лишь бы остаться у власти. Возникает не меритократия, а клептократия.

Печально, но эти коррумпированные правительства промотали значительную часть западной помощи, какой бы малой она ни была. Футуристы Альфред и Хейди Тоффлер (Alfred Toffler, Heidi Toffler) отмечают, что с 1950 по 2000 г. бедные страны получили от богатых более 1 трлн долларов помощи. Но, замечают они, «Всемирный банк говорит нам, что около 2,8 млрд человек — едва ли не половина населения планеты — по-прежнему живет на два доллара в день или даже меньше. Из них 1,1 млрд человек выживают в чрезвычайной или абсолютной нищете, меньше чем на один доллар в день».

Разумеется, развитые страны могут немало сделать для развивающихся, и ясно, что бесконечное обсуждение этой проблемы мало что дает для ее решения. Но, откровенно говоря, основную ответственность за развитие каждой страны должно нести ее руководство. Вспомним старую поговорку: «Дайте мне рыбу, и я буду сыт сегодня. Научите меня ловить рыбу, и я буду сыт всегда». Это означает, что вместо простой помощи развивающимся странам упор надо делать на образование и поддержку в развитии национальной промышленности, чтобы эти страны могли стать самодостаточными*.

Использовать достижения науки

Не исключено, что развивающиеся страны смогут воспользоваться достижениями информационной революции. В принци-

* Автор тщательно обходит стороной тот факт, что сами США не являются самодостаточными и просто не могут свести концы с концами. После наступления кризиса 2008 г. расходы американского бюджета постоянно превышают доходы на 50—70%, а месячный объем заимствований превосходит месячный же доход бюджета в три-четыре раза. — *Прим. пер.*

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

пе, у них есть шанс обогнать развитые страны во многих отношениях. В развитом мире телефонным компаниям приходилось тянуть телефонные провода к каждому дому и к каждой ферме, что тяжело и недешево. Но развивающейся стране сегодня нет нужды опутывать себя бесконечными проводами, ведь технология сотовой связи прекрасно работает в любой местности без всяких дорог и инфраструктуры.

Кроме того, развивающимся странам незачем перестраивать или ремонтировать устаревшие объекты инфраструктуры. К примеру, подземкам Нью-Йорка и Лондона уже больше ста лет, и они давно нуждаются в капитальной реконструкции. Их обновление сегодня будет стоить больше, чем стоило бы строительство новой системы. А развивающаяся страна может создать подземную транспортную систему с нуля, на базе новейших технологий, с применением новых материалов и строительной техники. Новая транспортная система и в обслуживании окажется гораздо дешевле, чем метрополитены столетней давности.

Китай, к примеру, извлек урок из всех градостроительных ошибок Запада и построил Пекин и Шанхай гораздо дешевле, чем стоит нам строительство крупного города. Сегодня Пекин строит одну из крупнейших и самых современных подземных транспортных систем в мире; китайцы с успехом применяют созданные на Западе компьютерные технологии, чтобы как можно лучше обслуживать стремительно растущее городское население.

Интернет — еще одна область, где развивающиеся страны могут уйти вперед, избежав всех ошибок Запада, особенно в сфере науки. Прежде ученым из развивающихся стран приходилось полагаться на примитивную почтовую систему, при которой адресат ждал получения выписанных научных журналов несколько месяцев. Журналы эти были дорогими и узкоспециализированными, так что только крупнейшие библиотеки могли позволить себе их выписывать. Сотрудничество с западными учеными было практически невозможно. Только очень

БУДУЩЕЕ БОГАТСТВА

богатые или чрезвычайно амбициозные могли получить место в западном университете и работать под руководством знаменитых ученых. Теперь любой желающий в любом конце света может получать научные журналы буквально в момент их выхода, и притом бесплатно. А через Интернет можно сотрудничать с западными учеными даже в том случае, если лично вы никогда не встречались.

Будущее ждет завоевателей

Будущее открыто всем. Как мы уже говорили, Кремниевая долина в ближайшие несколько десятилетий может стать очередным Ржавым поясом; век кремния заканчивается, и пока не ясно, какие страны в будущем займут лидирующее положение. В эпоху холодной войны сверхдержавами были те, кто мог оказывать военное влияние по всему миру. Но после развала Советского Союза стало ясно, что в будущем на вершину будут подниматься те, кто в первую очередь занимается строительством своей экономики, которая, в свою очередь, определяется уровнем развития науки и техники.

Итак, кто они, лидеры завтрашнего дня? Это страны, которые сумеют оценить ситуацию и правильно выстроить свою политику. К примеру, США сумели удержать лидерство в науке и технике, несмотря на то что при оценке знаний по основным предметам, таким как физика и математика, американские школьники обычно оказываются далеко не на первых местах. В 1991 г., к примеру, по результатам экзаменов 13-летние американские школьники оказались на 15-м месте по математике и 14-м по физике — немного лучше иорданских школьников, которые по обоим предметам оказались на 18-м месте. (Следует отметить, кстати, что места здесь распределяются примерно по числу учебных дней в школах соответствующих стран. В Китае, занявшем первое место, школьники учатся в среднем 251 день в году, тогда как в США — только 178.)

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Кажется чудом, что при таких весьма скромных результатах США продолжают удерживать международное лидерство в науке и технике, — но лишь до тех пор, пока необразишь, что сюда привлекают ученых со всего света и что большая их часть — иммигранты, результат так называемой «утечки мозгов». У США есть «секретное оружие», известное как виза H₁B, или «виза для гения». Если вы можете доказать, что обладаете особым талантом, способностями или научными знаниями, вы можете вне очереди получить такую визу. Именно таким образом постоянно пополняются наши научные ряды. В Кремниевой долине, по приблизительным оценкам, около половины составляют иммигранты, там много специалистов из Тайваня и Индии. По всей стране 50% аспирантов-физиков приехали из других стран. В Городском университете Нью-Йорка, где я работаю, этот показатель приближается к 100%.

Некоторые конгрессмены выступают за отмену визы H₁B, потому что, по их мнению, они отнимают рабочие места у американцев; эти люди просто не понимают ее истинной роли. Как правило, найти американцев, достаточно квалифицированных для работы на высших должностях в Кремниевой долине, невозможно, и зачастую эти должности просто остаются незанятыми. Бывший канцлер Германии Герхард Шрёдер пытался ввести в иммиграционный закон своей страны положение об аналогичной визе, но этому помешали те, кто считает, что такая мера отняла бы рабочие места у немцев. Опять же, противники предложения Шрёдера не поняли, что немцев на эти рабочие места часто найти невозможно, и они остаются незанятыми. Иммигранты по визе H₁B не занимают чужих рабочих мест, они создают новые отрасли.

Но виза H₁B — лишь временная мера. США не могут до бесконечности жить за счет иностранных ученых, многие из которых начинают возвращаться в Китай и Индию (по мере того как экономика этих стран стабилизируется и растет). Утечка мозгов — вещь ненадежная. Это означает, что США придется со

БУДУЩЕЕ БОГАТСТВА

временем полностью перестраивать свою архаичную и косную систему образования. Теперь же плохо подготовленные выпускники школ наводняют рынок труда и университеты, создавая попросту затор. Работодатели постоянно стонут: им приходится целый год натаскивать своих новых работников, чтобы они могли влиться в общий ритм. А университеты получают дополнительную нагрузку — необходимость создавать все новые коррекционные курсы, единственная задача которых — компенсировать недостатки школьного образования.

К счастью, со временем наши университеты и компании неплохо исправляют то, что успевают испортить средняя школа, но по существу все это — напрасная трата времени и способностей. Чтобы США и в будущем оставались конкурентоспособными, необходимо в корне изменить систему начального и среднего образования.

Говоря по справедливости, США до сих пор обладают серьезными преимуществами. Однажды на коктейле в нью-йоркском Музее естественной истории я встретил предпринимателя в области биотехнологий из Бельгии. Я спросил, почему он уехал из страны, ведь в Бельгии активно развиваются и биотехнологии, и соответствующая промышленность. Он сказал, что в Европе практически нереально получить второй шанс. Поскольку все знают и тебя, и твою семью, одной ошибки достаточно, чтобы потерять все. Куда бы ты ни поехал, твои ошибки всюду следуют за тобой. А в США, сказал он, можно чуть не каждый день менять себя и начинать все заново. Людям нет дела до того, кем были твои предки. Их интересует только, что ты можешь для них сделать. Это очень бодрит, сказал он, именно поэтому многие европейские ученые уезжают в Соединенные Штаты.

Урок Сингапура

На Западе существует выражение: «Скрипучее колесо смазывают». Но на Востоке есть другое выражение: «Гвоздь, который

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

торчит наружу, забивают». Эти две поговорки диаметрально противоположны по содержанию, но довольно точно отражают основные черты западного и восточного менталитета.

По школьным оценкам азиатские школьники, как правило, намного превосходят своих западных ровесников. Однако их знания — книжные и получены в результате зубрежки, а такими методами можно подняться лишь до определенного уровня. Чтобы достичь более высокого уровня в науке и технике, человеку потребуется креативность, воображение и изобретательность, которые восточная система не развивает вообще. Так что Китай, хотя и догонит со временем западные страны по производству дешевой массовой продукции — точных копий западных разработок, все равно сохранит отставание от Запада на несколько десятков лет по креативности, умению разрабатывать новые изделия и придумывать новые стратегии.

Однажды я был участником конференции в Саудовской Аравии, где выступал также Ли Куан Ю, премьер-министр Сингапура с 1959 по 1990 г. В развивающихся странах он популярен не меньше, чем какая-нибудь рок-звезда, — с его участием ковался новый современный Сингапур, занимающий одно из первых мест в научном мире. Кроме того, Сингапур сегодня — пятая по уровню благосостояния страна, если говорить о валовом национальном продукте на душу населения. Аудитория старалась расслышать каждое слово, произнесенное этим легендарным человеком.

Он говорил о давних временах, вспоминал послевоенные годы, когда на Сингапур в мире смотрели как на заштатный порт, знаменитый в первую очередь пиратством, контрабандой, пьяными матросами и другими неприглядными вещами. А группа его коллег мечтала о том дне, когда этот крошечный морской порт сможет поравняться с Западом. У Сингапура нет значительных природных ресурсов; его главный ресурс составляли люди, трудолюбивые, но малообразованные. Группа молодых политических лидеров преодолела невероятный путь, взяла

БУДУЩЕЕ БОГАТСТВА

сонную заштатную страну и за одно поколение превратила ее в настоящий оплот науки. Это, возможно, самый интересный пример социального инжиниринга в истории человечества.

Ли Куан Ю и его партия начали систематически перестраивать страну, делая упор на науку и образование и сосредоточившись на высокотехнологичном производстве. Всего за несколько десятилетий в Сингапуре появилось множество высокообразованных технических специалистов, что позволило ему стать одним из ведущих экспортеров электроники, продуктов химического производства и биомедицинского оборудования. В 2006 г. Сингапур производил 10% всех мировых полупроводниковых пластин для компьютерной промышленности.

Проблем перед ними на пути модернизации страны стояло множество, признался Ли. Чтобы обеспечить общественный порядок, пришлось ввести драконовские законы, запретив все, от плеванья на улицах (что наказывается публичной поркой) до продажи наркотиков (наказание — смерть). Но он отметил также одну очень важную вещь. Выяснилось, что ведущие мировые ученые с готовностью посещают Сингапур, но почти никто не соглашался остаться. Позже Ли узнал почему: в Сингапуре не было культурной жизни и развлечений, которые могли бы удерживать интеллектуалов. Это навело его на мысль целенаправленно стимулировать развитие всевозможных культурных благ, достойных современного государства (балетные труппы, симфонические оркестры и т. п.), чтобы лучшие ученые мира захотели пустить в Сингапуре корни. В мгновение ока в стране появились всевозможные культурные организации и мероприятия, и все это с единственной целью — удержать научную элиту.

Далее он понял, что дети в Сингапуре слепо повторяют за учителями слова, которые не понимают, и никогда не подвергают сомнению общепринятое мнение, не выдвигают новых идей. Осознав, что Восток вечно будет тащиться в хвосте Запада, если его ученые будут способны лишь повторять достижения других, Ли устроил настоящую революцию в образовании:

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

креативных учащихся выделяли на самых ранних стадиях и позволяли им двигаться вперед за мечтой в собственном темпе. Осознав, что нестандартный ученик вроде Билла Гейтса или Стива Джобса был бы наверняка раздавлен удушающей образовательной системой Сингапура, он попросил учителей заняться целенаправленным отбором будущих гениев, способных оживить экономику страны своим научным воображением.

Урок Сингапура подходит не для всех. Это всего лишь небольшой город-государство, где горстке мечтателей оказалось под силу полностью перестроить страну. Кроме того, не всякий захочет, чтобы его порол за каждый плевком на улице. Тем не менее Сингапур — наглядный пример того, чего можно добиться, если по-настоящему захотеть поставить информационную революцию себе на службу.

Вызовы будущего

Как-то в Институте перспективных исследований в Принстоне мне довелось завтракать с Фрименом Дайсоном. Он пустился в воспоминания о своей долгой научной карьере и упомянул один факт, который меня довольно сильно встревожил. Перед войной, учась в британском университете, Дайсон обнаружил, что лучшие умы Англии не хотят заниматься точными науками вроде физики или химии, а предпочитают им выгодную работу в финансовой и банковской сфере. Если предыдущее поколение создавало капитал в форме электрических и химических заводов, изобретало новые электромеханические машины, то новое поколение стремится управлять деньгами других людей. Дайсон сетовал и говорил, что это было признаком упадка великой Британской империи. Потеряв научную базу, Англия была не в состоянии и дальше сохранять статус мировой державы.

Следующая фраза, сказанная им, привлекла мое внимание. Он заметил, что сейчас он наблюдает такую ситуацию второй раз в жизни. Лучшие умы Принстона не пытаются больше разби-

БУДУЩЕЕ БОГАТСТВА

раться со сложными проблемами физики и математики, а всеми силами стремятся сделать карьеру в инвестиционно-банковской сфере. Возможно, это тоже признак упадка; лидеры общества уже не в состоянии стимулировать инновации и технические новинки, которые, собственно, и обеспечили процветание общества.

Это вызов, на который нам всем придется ответить в будущем.

8. БУДУЩЕЕ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

ПЛАНЕТАРНАЯ ЦИВИЛИЗАЦИЯ

Живущим сегодня людям довелось жить в период, который можно рассматривать как три или четыре самых необычайных столетия в истории человечества.

Джулиан Саймон

Без откровения свыше народ необуздан.

Притчи 29:18

Боги древних мифов жили в роскоши на небесах, не опускаясь до незначительных забот, которыми заняты простые смертные. Греческие боги веселились и флиртовали в своих небесных владениях на горе Олимп; северные боги, сражавшиеся ради чести и вечной славы, пировали в священных стенах Вальгаллы с духами павших воинов. Но если человеку суждено к концу XXI века обрести силу древних богов, как будет выглядеть в 2100 г. наша цивилизация? Куда заведут человечество технические новинки?

Все технические революции, описанные в этой книге, можно считать этапами большого пути к одной великой цели: созданию планетарной цивилизации. Переход к ней должен стать, вероятно, величайшим событием в истории человечества. Мало того, поколение живущих сегодня людей можно смело считать самым значительным из всех, что когда-либо жили на нашей планете. Именно они должны определить, достигнет ли человечество этой великой цели или будет ввергнуто в пучину хаоса. С того момента, когда наши предки впервые вышли из Африки около 100 000 лет назад, миновало около 5000 поколений, но лишь одно поколение — сегодняшнее — определит судьбу нашего мира.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Я убежден, что если не произойдет какой-либо природной катастрофы мирового уровня и если людская глупость не достигнет вселенских масштабов, человечество неизбежно вступит в эту фазу нашей истории. Нагляднее всего в этом можно убедиться на примере истории мировой энергетики.

Шкала развития цивилизаций

Когда профессиональные историки пишут об истории, они рассматривают ее через призму человеческого опыта и человеческой глупости — т. е. через деяния королей, социальные движения и распространение идей. Физики видят историю совершенно иначе.

Физики оценивают любой объект, даже цивилизацию, по количеству потребляемой энергии. Если говорить об истории человечества, то ясно, что на протяжении бесчисленных тысячелетий энергия, которой мог распоряжаться один человек, ограничивалась одной пятой лошадиной силы, т. е. силой одной пары человеческих рук; именно поэтому люди вели кочевую жизнь в маленьких бродящих племенах, пытаясь добыть себе пропитание в суровом и враждебном мире. Целые эпохи человека, по существу, сложно было отличить от волка. Не было никаких записей, только устные предания, передававшиеся из поколения в поколение у одиноких степных костров. Средняя ожидаемая продолжительность жизни составляла 18–20 лет. Все имущество человека ограничивалось тем, что он мог унести на плечах. Большую часть жизни человек страдал от голода, а после смерти пропадал бесследно, ничего после себя не оставив.

Но 10 000 лет назад произошло событие, подтолкнувшее цивилизацию к развитию: завершился очередной ледниковый период. По причинам, нам до конца не понятным, тысячелетнее оледенение закончилось, открыв дорогу сельскому хозяйству. Вскоре были одомашнены лошади и быки, и энергия, которой мог распоряжаться человек, увеличилась до 1 л.с. Теперь один

Будущее человечества

человек мог обрабатывать несколько гектаров земли и к тому же вырабатывать излишки энергии, достаточные, чтобы прокормить быстро растущее население. Одомашнивание животных позволило человеку не полагаться больше на охоту как источник пищи; среди лесов и равнин возникли первые постоянные поселения.

Излишки, возникшие в результате сельскохозяйственной революции, породили новые нетривиальные способы сохранения и приумножения богатства. Возникли математика и письменность, позволившие организовать учет благосостояния. Потребовались календари, чтобы определять сроки сева и сбора урожая; потребовались писцы и счетоводы, способные следить за капиталом и облагать его налогом. За счет излишков были созданы большие армии, королевства, империи, возникли рабство и древние цивилизации.

Следующая — промышленная — революция произошла около 300 лет назад. Внезапно оказалось, что капитал, накопленный человеком, может быть создан не только трудом людей или животных; его могут создавать машины, а массовое производство — путь к сказочному богатству.

Оказалось, что паровой двигатель способен приводить в движение мощные машины и локомотивы, так что капитал можно создавать на фабриках, заводах и шахтах, а не только в полях. Крестьяне, изголодавшиеся в очередной неурожайный год и измотанные тяжким трудом на полях, бежали в города и превращались в промышленных рабочих. Кузнецов и мастеров-тележников постепенно сменили автослесари. Двигатель внутреннего сгорания дал в руки человека сотни лошадиных сил. Ожидаемая продолжительность жизни начала расти и в 1900 г. достигла 49 лет.

Наконец, сегодня мы наблюдаем третью волну, когда источником капитала становится информация. Богатство стран теперь измеряется электронами, бегающими по всему миру по оптоволоконным сетям, и байтами информации, принимаемыми

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

и излучаемыми от спутников; рано или поздно все они появляются на экранах компьютеров Уолл-стрит или других финансовых столиц. Наука, коммерция и развлечения сегодня путешествуют со скоростью света; человек, где бы он ни находился, в любое время может получить всю необходимую информацию.

Цивилизации I, II и III типа

Можем ли мы ответить, как этот экспоненциальный рост энерговооруженности будет продолжаться в ближайшие столетия и тысячелетия? Физики, пытаясь классифицировать цивилизации, оценивают их все по тому же критерию: потребляемой энергии. Первым такую классификацию ввел русских астрофизик Николай Кардашёв, размышляя об исследовании ночного неба в поисках сигналов от внеземных (разумеется, продвинутых) цивилизаций.

Кардашёва не устраивало расплывчатое и неопределенное понятие «внеземные цивилизации», и он предложил количественную шкалу, по которой астрономы могли бы ориентироваться. Он прекрасно понимал, что цивилизации могут кардинально различаться по культуре, общественному устройству, принципу управления и т. п., но существует то, чему все они должны подчиняться: законы природы. Кроме того, ясно, что с Земли мы можем зарегистрировать и измерить лишь одно — потребление энергии, и классифицировать цивилизации следует именно по этому критерию.

Итак, Кардашёв предложил делить внеземные цивилизации на три теоретических типа. Цивилизации I типа — цивилизации планетарные, потребляющие лишь ту долю излучаемой светилом энергии, которая приходится на планету (около 10^{17} Вт). Ко II типу относятся звездные цивилизации, они потребляют всю энергию, излучаемую светилом (около 10^{27} Вт). К III типу относятся галактические цивилизации, потребляющие энергию миллиардов звезд (около 10^{37} Вт).

Будущее человечества

Достоинство этой классификации в том, что мы можем количественно оценить мощь любой цивилизации, вместо того чтобы строить общие предположения и гадать на кофейной гуще. Мы знаем энергетический выход соответствующих небесных объектов и в состоянии ограничить каждый из них конкретными численными рамками.

Типы различаются между собой на десять порядков, т. е. в 10 млрд раз: цивилизация III типа потребляет в 10 млрд раз больше энергии, чем цивилизация II типа (потому что в Галактике примерно 10 млрд звезд), а она, в свою очередь, потребляет в 10 млрд раз больше энергии, чем цивилизация I типа.

По этой классификации наша сегодняшняя цивилизация относится к классу 0. Нас вообще нет на этой шкале, ведь мы до сих пор получаем энергию из остатков погибших растений, т. е. из нефти и угля. (Карл Саган, обобщая эту классификацию, попытался более точно оценить наше положение на этой космической шкале. У него получилось, что мы сейчас цивилизация типа 0,7.)

По этой шкале можно оценивать также цивилизации, выведенные писателями в фантастических произведениях. Типичной цивилизацией I типа представляется цивилизация Бака Роджерса или Флэша Гордона, где людям подвластны энергетические ресурсы целой планеты. Люди контролируют все планетарные источники энергии, могут по желанию устанавливать или изменять погоду, они овладели энергией ураганов и построили города в океане. Их ракеты бороздят космос, но их источники энергии в основном ограничены родной планетой.

К цивилизациям II типа можно отнести Объединенную федерацию планет из «Звездного пути» (если забыть о варп-двигателе), которая смогла колонизировать около сотни близлежащих звезд. Однако технология этой цивилизации еще только подбирается к возможности манипулирования энергией целой звезды.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Цивилизацией III типа можно, пожалуй, назвать Империю из саги «Звездные войны» или, может быть, боргов из «Звездного пути». Те и другие колонизировали значительную часть своей галактики, захватив миллионы звездных систем. Они могут путешествовать по галактике как угодно.

(Хотя классификация Кардашёва основана на планетах, звездах и галактиках, следует указать на теоретическую возможность существования цивилизации IV типа, черпающей энергию из внегалактических источников. Единственный известный нам источник энергии за пределами нашей Галактики — это темная энергия, составляющая 73% материи видимой Вселенной, тогда как на видимый мир звезд и галактик приходится всего 4%. Возможный кандидат на роль цивилизации IV типа — богоподобный Q из «Звездного пути», чье могущество определенно имеет сверхгалактические масштабы.)

Используя предложенную классификацию, можно оценить, когда человечество достигнет каждой из перечисленных ступеней. Предположим, что суммарный ВВП мировой цивилизации ежегодно растет на 1%. Это разумное предположение, если рассматривать развитие человечества за последние несколько столетий. Согласно этому предположению, на переход с одной ступени на следующую требуется примерно 2500 лет. Ежегодный 2%-ный рост позволил бы совершить этот переход за 1200 лет.

Но можно также подсчитать, сколько нашей цивилизации потребуется времени на достижение I уровня. Несмотря на кризисы и периоды быстрого роста, можно математически оценить, что при средней скорости роста экономики он будет достигнут примерно за 100 лет.

От нулевого типа к первому

Всякий раз, открывая газету, мы видим все новые свидетельства того, что человеческая цивилизация действительно находится на этапе перехода от условного типа 0 к I типу. Многие

Будущее человечества

заголовки — настоящее свидетельство «родовых схваток» цивилизации I типа, которая рождается на наших глазах.

- Интернет — источник всепланетной системы связи, обязательной для цивилизации I типа. Впервые в истории человек, находящийся на одном из континентов Земли, может без всяких усилий обмениваться информацией в неограниченном количестве с человеком, находящимся в любом другом месте. Многие люди уже считают, что у них больше общего с кем-то на другом конце света, чем с соседом по дому. По мере прокладки новых опτικο-волоконных сетей и запуска новых спутников связи этот процесс будет только ускоряться. Остановить его невозможно. Даже если бы президент США попытался запретить Интернет, его слова были бы встречены смехом. В мире сегодня почти миллиард персональных компьютеров, и примерно четверть всего человечества успела побывать в Интернете хотя бы один раз.
- Некоторые языки — в первую очередь английский, затем китайский — стремительно развиваются в направлении языков I типа. К примеру, 29% посетителей Всемирной паутины регистрируются в ней на английском языке, 22 — на китайском, 8 — на испанском, 6 — на японском и 5% — на французском. Английский уже сегодня де-факто стал всепланетным языком науки, финансов, бизнеса и развлечений, самым популярным иностранным языком на планете. Где бы я ни путешествовал, везде можно объясниться на английском языке. К примеру, в Азии, когда встречаются вьетнамец, японец и китаец, общаются они по-английски. В настоящее время люди Земли говорят примерно на 6000 языках, и 90% из них, по мнению Майкла Краусса (Michael E. Krauss) из Центра коренных языков

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Университета Аляски, обречены на исчезновение в ближайшие несколько десятков лет. Телекоммуникационная революция лишь ускоряет этот процесс, поскольку люди, живущие даже в самых отдаленных районах, получают свободный доступ к ресурсам на английском языке. Она также ускоряет экономическое развитие, так как страны все больше интегрируются в мировую экономику, что поднимает в них стандарты жизни и экономическую активность населения.

Компьютерная революция гарантирует, что древние языки, вышедшие из употребления, не пропадут бесследно. В Интернете они сохранятся навсегда.

- Мы с вами являемся свидетелями зарождения планетарной экономики, о чем ясно свидетельствует подъем Европейского союза и других торговых блоков. Из истории мы знаем, что народы Европы тысячи лет воевали между собой. Разгромив Римскую империю, племена продолжали истреблять друг друга; в Европе множество соседей-соперников и соседей-врагов. Тем не менее недавно все эти враги и соперники неожиданно, отбросив прежние споры, объединились в Европейский Союз, в котором в настоящее время сосредоточено больше всего капиталов на планете. Причина объединения — необходимость конкурировать с другим экономическим монстром, странами, подписавшими Североамериканское соглашение о свободной торговле (NAFTA). В будущем мы увидим, как формируются новые экономические блоки по мере того, как страны осознают невозможность сохранять конкурентоспособность в одиночку.

В этом можно наглядно убедиться, если проанализировать кризис 2008 г. Всего за несколько часов отзвуки финансовых потрясений, исходящие с Уолл-стрит, волной прокатились по финансовым учреждениям

Будущее человечества

Лондона, Токио, Гонконга и Сингапура. Сегодня, не принимая в расчет общих тенденций мировой экономики, невозможно рассматривать экономику одной отдельно взятой страны.

- Мы наблюдаем возникновение и развитие планетарного среднего класса. Сотни миллионов людей в Китае, Индии и других местах постепенно пополняют эту категорию; вероятно, это величайший социальный подъем последнего полувека. Эти люди прекрасно разбираются в культурных, образовательных и экономических тенденциях, существующих на планете. Главное для них — не войны, религия или соблюдение строгого морального кодекса, а политическая и социальная стабильность и потребление. Идеологические и племенные страсти, владевшие их предками, значат для представителей этого среднего класса очень мало, их цель — обзавестись домиком в пригороде и двумя машинами. Если их предки праздновали день, когда сыновья отправлялись на свою первую войну, то одна из главных их забот — пристроить детей в хороший колледж. А люди, с завистью наблюдающие за успехами других, думают только о том, когда же придет их время. Кенити Омаэ (Kenichi Ohmae), бывший старший партнер компании McKinsey & Company, пишет: «Люди неизбежно начнут оглядываться вокруг и задаваться вопросом, почему они не могут иметь то, что имеют другие. Важно также, что они начнут задаваться вопросом, почему они не могли иметь этого раньше».
- Экономика, а не оружие, — вот новый критерий сверхдержавы. Успех ЕС и Североамериканской зоны свободной торговли подчеркивает очень важный момент: с окончанием холодной войны стало ясно, что мировая держава может поддерживать свое до-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

минирующее положение в основном при помощи экономической мощи. Ядерные войны попросту слишком опасны, поэтому судьба наций будет зависеть от экономики. Одним из факторов, предопределивших крах Советского Союза, было экономическое перенапряжение от гонки вооружений с США. (Как однажды заметили советники президента США Рональда Рейгана, стратегией США было заставить Россию тратить больше, чем она может себе позволить, т. е. без конца увеличивать военные расходы, так чтобы русские, экономика которых уступала экономике США в два с лишним раза, вынуждены были держать собственный народ в черном теле.) Ясно, что в будущем сверхдержава сможет сохранять свой статус только через экономическую мощь, которую обеспечивают передовые наука и техника.

- Рождается единая планетарная культура, основанная на молодежной культуре (рок-н-ролл и молодежная мода), кинематографе (голливудские блокбастеры), высокой моде (предметы роскоши) и питании (массовые сети предприятий быстрого питания). Где бы вы ни путешествовали, везде заметны те же культурные тенденции в музыке, искусстве и моде. К примеру, Голливуд, оценивая будущий успех потенциального блокбастера, тщательно просчитывает впечатление, которое тот должен произвести на представителей разных культур. Главными источниками дохода для Голливуда — и свидетельством зарождения планетарной культуры — служат фильмы (боевики и любовные истории) на кросс-культурные темы с участием международных знаменитостей.

Начало этого процесса приходится на период после Второй мировой войны, когда впервые в истории появилось целое по-

Будущее человечества

коление молодых людей, обладавших достаточным личным доходом, чтобы повлиять на главенствующую в обществе культуру. Прежде подростки просто отправлялись в поле работать вместе с родителями. (Отсюда, кстати говоря, берут начало трехмесячные летние каникулы. В Средние века дети, как только немного подрастали, должны были все лето вкалывать в поле.) Но благосостояние семей росло, и послевоенные дети оказывались вместо поля на улице. Сегодня мы видим, как этот процесс охватывает все больше стран, по мере того как экономическое развитие повышает личный доход подростков. Со временем, поскольку большинство людей на планете перейдет в средний класс, от их растущих доходов перепадет что-то и их детям, подпитав в конечном итоге планетарную молодежную культуру.

Рок-н-ролл, голливудское кино и т. п. — наглядные примеры того, как вещный капитализм сменяется интеллектуальным. В ближайшие несколько десятилетий роботы точно не научатся создавать музыку и фильмы, способные потрясти международную аудиторию.

То же происходит и в сфере моды, где несколько брендовых имен гремят на весь мир. Высокая мода, предназначавшаяся когда-то лишь для аристократов и богачей, стремительно распространяется по миру; все больше людей, войдя в средний класс, приобщаются к настоящему гламуру. Высокая мода теперь доступна не только привилегированной элите.

Но рождение планетарной культуры не означает, что местные культурные традиции исчезнут без следа. Нет, люди просто станут бикультурными. С одной стороны, они будут поддерживать и сохранять собственные культурные традиции (а Интернет гарантирует, что память об этих традициях сохранится навечно). Богатое культурное разнообразие сохранится и в будущем, даже расцветет. Более того, какие-то малоизвестные черты местной культуры через Интернет могут распространиться по всему миру и обрести таким образом новых сторонников. С другой стороны, люди будут прекрасно разбираться в изменчивых тенденциях

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

глобальной культуры. Глобальная культура станет связующим звеном в общении людей разных культур. Это уже произошло со многими местными элитами мира. Эти люди говорят на своем языке и соблюдают свои традиции, но при общении с людьми других культур говорят по-английски и следуют международным правилам поведения. Это модель зарождающейся цивилизации I типа.

- Новости также становятся планетарными. Спутниковое телевидение, сотовые телефоны, Интернет и т. п. не позволяют ни одному государству мира жестко фильтровать и контролировать новости. Сообщения о событиях, недоступные цензорам, приходят из всех уголков мира. Если где-то разражаются войны и революции, страшные фотографии сразу же разлетаются по миру, а репортажи в Сети ведутся практически в реальном времени. Великим державам XIX в. было относительно несложно внушать народу нужные ценности и манипулировать новостями. Сегодня это тоже возможно, но в гораздо меньших масштабах благодаря стремительно развивающимся технологиям. Кроме того, во всем мире растет уровень образования — а значит, и аудитория для мировых новостей. Политики, обдумывая свои действия и их последствия, вынуждены учитывать мировое общественное мнение.
- Спорт, который в прошлом играл важную роль в формировании племенной и позже национальной идентичности, сегодня формирует идентичность планетарную. Доминируют здесь европейский футбол и Олимпийские игры. Олимпиада 2008 г., к примеру, многими рассматривается как мировой дебют Китая, который после столетий изоляции жаждет занять достойное место в мировой культуре. Это также про-

Будущее человечества

явление Принципа пещерного человека, поскольку спорт — состязание в силе и ловкости — прекрасно себя чувствует в мире хай-тек.

- Экологические угрозы также широко обсуждаются в мировом масштабе. Страны постепенно осознают, что загрязнение окружающей среды не знает национальных границ и может быть причиной международных кризисов. Впервые мы стали свидетелями подобного явления, когда над Южным полюсом образовалась гигантская озоновая дыра. Известно, что озоновый слой не пропускает к Земле вредное ультрафиолетовое и рентгеновское излучение; тогда страны объединились и договорились ограничить производство и потребление фреонов, которые используются в холодильниках и промышленных системах. Монреальский протокол, подписанный в 1987 г., существенно уменьшил использование химических веществ, разрушающих озоновый слой. Закрепляя достигнутый международный успех, большинство стран в 1997 г. подписало Киотский протокол, направленный против глобального потепления, которое угрожает природе Земли куда сильнее, чем разрушение озонового слоя.
- Туризм — одна из самых быстрорастущих отраслей на планете. На протяжении всей истории человечества люди в большинстве своем проживали всю жизнь в тех же местах, где появлялись на свет. Беспринципные вожди легко манипулировали народом, который практически не общался с представителями других культур. Однако сегодня можно объехать весь свет, располагая довольно скромными средствами. Сегодняшние молодые люди с рюкзаками, ночующие в скромных студенческих отелях по всему миру, завтра станут политическим лидерами и поведут за собой

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

народы. Кое-кто утверждает, что туристы получают лишь самое грубое представление о местной культуре, истории и политике. Но не стоит забывать, что в прошлом отдаленные культуры почти не контактировали между собой (разве что во время войны, и, как правило, с трагичными последствиями).

- Падение цен на межконтинентальные перелеты также расширяет контакты между различными народами и помогает распространять идеи демократии; теперь гораздо труднее, чем прежде, развязывать войны. Непонимание порождает враждебность, но довольно трудно затеять войну против народа, с которым близко знаком.
- Природа войны тоже меняется, отражая новые реалии. История показала, что две демократии почти никогда не воюют друг с другом. Почти все войны прошлого вели либо недемократические страны между собой, либо демократические страны с недемократическими. В целом военную лихорадку легче всего развязывают демагоги, создающие образ врага и представляющие его в демоническом свете. Но в демократическом обществе с живой прессой, оппозиционными партиями и многочисленным средним классом, который в войне может потерять все, военную лихорадку культивировать гораздо сложнее. Это вообще трудно делать, если пресса высказывается скептически, а матери хотят знать, зачем их сыновей посылают на войну.

Войны в будущем не прекратятся. Как однажды сказал прусский военный теоретик Карл фон Клаузевиц, «война — это продолжение политики другими средствами». Тем не менее, хотя войны будут, их характер изменится по мере распространения демократии в мире.

Будущее человечества

(Существует еще одна причина, по которой войны становится все труднее вести в мире, где благосостояние растет, а людям есть что терять. Политический теоретик Эдвард Луттвак (Edward Luttwak) объясняет это тем, что семьи стали меньше. В прошлом в семье в среднем было по десять или около того детей; старший наследовал ферму, а младшие становились священниками, военными или просто отправлялись на поиски лучшей доли. Сегодня, когда семья имеет в среднем 1,5 ребенка, некому с такой легкостью пополнять армию и церковь. Поэтому войны вести все труднее, особенно если демократической стране приходится воевать с партизанами третьего мира.)

- Государства ослабнут, но пока будут существовать. В 2100 г. они по-прежнему будут нужны для обеспечения законности и решения местных проблем. Однако власть и влияние государства сильно уменьшатся, когда экономика станет сначала региональной, а затем и глобальной. К примеру, в конце XVIII — начале XIX в., в момент развития капитализма, государство было необходимо, чтобы обеспечивать единую денежную систему, язык, налоги, приводить в исполнение законы о торговле и патентах. Национальные правительства быстро избавились от феодальных законов и традиций, сдерживавших развитие свободной торговли и финансов. В обычных условиях этот процесс мог продолжаться лет сто, но мы видели и ускоренную его версию, когда Отто фон Бисмарк, железный канцлер, в 1871 г. создал современную Германию. Точно так же движение к цивилизации I типа меняет природу капитализма, а экономическая власть постепенно переходит от национальных правительств к региональным властям и торговым блокам.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Это не обязательно приведет к возникновению мирового правительства. Планетарная цивилизация может быть организована самыми разными способами. Ясно, что национальные правительства потеряют часть власти, но какая власть заполнит образовавшийся вакуум, будет зависеть от множества исторических, культурных и национальных тенденций, предсказать которые очень сложно.

- Борьба с болезнями будет вестись в планетарном масштабе. В древности инфекционные заболевания были куда менее опасны, чем теперь, из-за низкой плотности населения. К примеру, вирус Эбола, порождающий неизлечимую болезнь, является, вероятно, достаточно древним, но за тысячи лет ему удалось заразить и уничтожить всего несколько деревень. Между тем в связи со стремительным распространением цивилизации в необитаемые прежде районы и ростом городов вирусы, подобные вирусу Эбола, требуют неусыпного наблюдения.

В городе, население которого составляет несколько сотен тысяч человек, болезни могут распространяться очень быстро и вызывать настоящие эпидемии. Тот факт, что черная смерть — чума — уничтожила едва ли не половину населения Европы, свидетельствует, как ни странно, о прогрессе: плотность населения достигла критической массы, а морские пути связали древние города по всему миру в единую сеть.

Недавняя вспышка гриппа H₁N₁, таким образом, тоже может служить мерилем нашего прогресса. Возникнув, скорее всего, в Мехико, эта болезнь быстро распространилась по всему миру. Но еще важнее, что потребовалось всего несколько месяцев, чтобы расшифровать геном вируса и создать вакцину, которой смогли воспользоваться десятки миллионов человек.

Терроризм и диктатуры

Однако существуют группы людей, которые инстинктивно сопротивляются движению к планетарной цивилизации I типа, поскольку понимают, что общество в ней должно быть прогрессивным, свободным, научным, процветающим и образованным. Эти силы далеко не всегда осознают причины противостояния и почти никогда не могут их сформулировать, но по существу они сражаются именно против движения человечества к планетарной цивилизации I типа. К их числу относятся:

- исламские террористы, которые, вместо того чтобы жить в XXI в., предпочли бы вернуться на тысячу лет назад, в XI в. Судя по их собственным заявлениям, они предпочли бы жить в теократическом государстве, где наука, личные отношения и политика подвергаются жесткому религиозному контролю. (При этом они забывают, что исторически величие исламской цивилизации, научные и технические ее достижения были сравнимы лишь с ее же терпимостью к новым идеям. Террористы не понимают истинных причин прошлого величия ислама.);
- диктатуры, для сохранения власти в которых народ надо держать в неведении относительно процветания и прогресса внешнего мира. Поразительный пример — демонстрации, захлестнувшие Иран в 2009 г., когда правительство пыталось подавить недовольство народа, а демонстранты использовали Twitter и YouTube, чтобы донести свои идеи до внешнего мира.

В прошлом люди говорили, что перо сильнее меча. В будущем сильнее меча будет микросхема, компьютерный чип.

Одна из причин, по которой нищий народ Северной Кореи не бунтует, состоит в том, что люди там практически изолированы от внешнего мира и считают, что жизнь везде одинакова. Они не понимают, что выход есть, и терпят невероятные страдания.

Цивилизации II типа

К моменту, когда общество обретает статус цивилизации II типа (если говорить о Земле, то это может произойти не раньше чем через несколько тысяч лет), оно становится неуязвимым. Уничтожить цивилизацию II типа не в состоянии ничто, известное науке. Поскольку к этому моменту цивилизация обязательно научится управлять погодой, оледенений можно будет избежать — или изменить их условия. Метеорит или комету можно будет заранее отклонить от опасного пути. Даже если светило такой цивилизации превратится в сверхновое, люди сумеют эвакуироваться в другую звездную систему — или, возможно, предотвратить взрыв звезды. (К примеру, если их светило превратится в красный гигант, они, возможно, смогут подогнать несколько астероидов и, осуществив гравитационный маневр, увести свою планету дальше от него.)

Один из способов, при помощи которых цивилизация II типа сможет использовать всю излучаемую солнцем энергию, состоит в создании вокруг светила гигантской сферы, которая и будет поглощать излучение звезды. Такая сфера получила название сферы Дайсона.

Цивилизация II типа, по всей видимости, будет жить в мире. Поскольку космические путешествия чрезвычайно сложны и затратны, любая цивилизация должна будет провести на первой ступени не одно столетие, так что времени на объединение общества у нее хватит. К моменту перехода на вторую ступень цивилизация успеет колонизировать не только свою солнечную систему, но и близлежащие звезды, возможно, до расстояния

в несколько сотен световых лет, но не больше. Скорость света по-прежнему будет ее ограничивать.

Цивилизация III типа

К моменту перехода на третью ступень цивилизация, по всей видимости, успеет исследовать большую часть своей галактики. Самый удобный способ посетить сотни миллиардов планет состоит в том, чтобы разослать по галактике самовоспроизводящихся роботов. Зонд фон Неймана — это робот, способный копировать себя в неограниченных количествах; этот робот садится на какую-нибудь луну (поскольку на ней нет ржавчины и эрозии) и строит там из местных материалов завод, где будут изготавливаться тысячи точно таких же роботов. Каждый новый робот стартует к следующей далекой звездной системе и там вновь изготавливает множество собственных копий. Начав с одного такого зонда, мы быстро получим расширяющуюся почти со скоростью света сферу из триллионов самовоспроизводящихся зондов, которые исследуют и нанесут на карту нашу Галактику — Млечный Путь — всего за 100 000 лет. Поскольку возраст Вселенной составляет 13,5 млрд лет, времени на возможное возникновение (и падение) таких цивилизаций было достаточно. (Надо сказать, что число вирусов в нашем организме тоже растет по экспоненте.)

Существует, однако, и другая возможность. К моменту достижения третьей ступени цивилизация накапливает такое количество энергетических ресурсов, что может позволить себе подступиться к так называемой «планковской энергии» в 10^{28} электронвольт — энергии, при которой само пространство-время теряет стабильность. (Планковская энергия в квадрильон раз превосходит энергию, которую может придать частице наш крупнейший ускоритель, Большой адронный коллайдер. Это энергия, при которой наконец рухнет эйнштейнова теория гравитации. Теоретически при этой энергии ткань пространства-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

времени рвется, создавая крошечные порталы, которые, опять же теоретически, могут вести в другие вселенные или в другие точки нашего пространства-времени.) Чтобы обуздать такую энергию, потребуются колоссальные машины невообразимых масштабов, но не исключено, что, если это удастся, сквозь ткань пространства-времени можно будет проложить короткие пути, либо сжимая пространство, либо проходя сквозь кротовые норы. Конечно, все это в том случае, если удастся преодолеть множество серьезнейших теоретических и практических препятствий (к примеру, получить достаточное количество положительной и отрицательной энергии и устранить нестабильности). Зато если получится, цивилизация сможет колонизировать целую галактику.

Подобные рассуждения поневоле заставляют задаться вопросом: если Они существуют, почему не посещают нас? «Где Они?» — спрашивают критики.

Один из возможных ответов состоит в том, что они, может быть, уже бывали на Земле, но мы слишком примитивны, чтобы их заметить. Самовоспроизводящиеся зонды фон Неймана — самый практичный способ исследования Галактики — не обязательно должны быть большими. Может быть, это аппараты длиной всего в несколько сантиметров, ведь никто не знает, насколько продвинулись у них нанотехнологии. Возможно, они даже находятся на виду, но мы не можем их узнать, потому что ожидаем совершенно иного — громадных кораблей с инопланетянами. А это, скорее всего, полностью автоматические зонды, наполовину органические, наполовину электронные, и никаких инопланетян в них нет.

Когда мы встретимся наконец с представителями иных цивилизаций, нас, возможно, ждет настоящее потрясение. Кто знает, как они успели изменить свою биологию при помощи роботехники, нано- и биотехнологий?

Возможно также, что эти цивилизации самоуничтожились. Как мы уже говорили, самым опасным представляется переход

от нулевой ступени к первой — та самая стадия, на которой сейчас находится человечество. У нас еще сохранились дикость, фундаментализм, расизм и другие пережитки прошлого. Не исключено, что когда-нибудь человек обнаружит в иных звездных системах следы цивилизаций 0 типа, которые не сумели перейти на первую ступень (к примеру, атмосфера этих планет может оказаться слишком горячей или слишком радиоактивной для жизни).

Проект по поиску внеземных цивилизаций (Search for extraterrestrial intelligence, SETI)

В настоящее время человечество, разумеется, не думает о движении человечества к статусу цивилизации I типа. На планете нет коллективного осознания того, что этот исторический переход вообще происходит. Если провести опрос, окажется, что кое-кто смутно понимает, что идет процесс глобализации, но за исключением этого нет четкого представления о том, что цивилизация Земли движется к какой-то определенной цели.

Ситуация может внезапно измениться, если мир вдруг получит реальные свидетельства существования внеземной жизни. Мы сразу сравним уровень развития нашей цивилизации с уровнем инопланетян. Ученые, в частности, попытаются представить, чего достигла инопланетная цивилизация и в каких именно областях техники.

Конечно, нельзя сказать наверняка, но, учитывая бурное развитие техники, мы, вероятно, еще в этом столетии обнаружим в космосе развитую цивилизацию.

Это событие стало возможным благодаря двум тенденциям. Во-первых, это запуск спутников, задача которых — поиск небольших каменных внесолнечных планет (COROT и Kepler). Ожидается, что Kepler сможет обнаружить в дальнем космосе до 600 маленьких землеподобных планет. Следующий шаг — на-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

править на обнаруженные планеты средства поиска излучений, характерных для развитой цивилизации.

В 2001 г. миллиардер из Microsoft Пол Аллен начал выделять средства (сегодня это уже больше 30 млн долларов), которые должны придать новый импульс затормозившей программе SETI. К северу от Сан-Франциско в радиообсерватории Хэт-Крик сооружается система Allen Telescope Array; по завершении работ, когда в ней установят 350 радиотелескопов, это будет самая мощная система радиотелескопов в мире*. Если в прошлом астрономам удалось просканировать в поисках разумной жизни лишь чуть больше 1000 звезд, новая система увеличит это число в 1000 раз и позволит довести число звезд до миллиона.

Хотя ученые уже полвека безуспешно пытаются поймать сигналы внеземной цивилизации, лишь недавно два названных выше фактора придали программе SETI столь необходимое ускорение. Многие астрономы считают, что этой задаче просто уделялось слишком мало внимания, времени и средств. Благодаря новым ресурсам и данным SETI становится серьезным научным проектом.

Не исключено, что уже в этом столетии мы все-таки примем космические сигналы от цивилизации разумных существ. Сет Шостак (Seth Shostak), директор Института SETI, сказал мне, что рассчитывает в течение 20 ближайших лет установить контакт с такой цивилизацией. Вероятно, он слишком оптимистичен, но можно со значительной долей уверенности сказать: будет странно, если мы не примем в ближайшие сто лет сигналов ни от одной космической цивилизации.

Если такие сигналы будут получены, это событие может стать одной из важнейших вех в истории человечества. Голливудские режиссеры обожают показывать, какой хаос может породить на Земле такое известие: всевозможные пророки, запу-

* В апреле 2011 г., после ввода в строй первой очереди системы из 42 телескопов, ее работа была приостановлена из-за недостатка средств в бюджете Университета Калифорнии в Беркли, отвечавшего за эксплуатацию АТА. — *Прим. пер.*

Будущее человечества

гивающие народ близким концом света, безумные религиозные культы...

Реальность, однако, окажется куда более будничной. Не будет никакого повода для немедленной паники — ведь представители этой цивилизации, скорее всего, даже не подозревают о нашем существовании и о том, что мы подслушиваем их разговоры. Во-первых, на полную расшифровку сообщения может уйти не один месяц, а то и не один год; затем еще надо будет оценить уровень этой цивилизации, посмотреть, укладывается ли она в классификацию Кардашёва. Во-вторых, прямое общение с ней маловероятно, ведь наши планеты разделяет множество световых лет — слишком много для непосредственного контакта. Так что мы, скорее всего, сможем только со стороны наблюдать за этой цивилизацией, но не общаться с ней. Конечно, мы попытаемся построить огромные радиопередатчики, способные отправить ответное сообщение. Но реально понадобятся столетия, чтобы установить с этой цивилизацией двустороннюю связь.

Новые классификации

Кардашёвская классификация цивилизаций была предложена в 1960-е гг., когда физиков очень беспокоило производство энергии. Однако экспоненциальный рост компьютерных мощностей заставил обратить особое внимание на информационную революцию, в которой объем информации, которую способна переработать цивилизация, становится не менее важным, чем ее энерговооруженность.

К примеру, представим себе цивилизацию на планете, где компьютеры в принципе невозможны, поскольку ее атмосфера хорошо проводит электричество. В любом электрическом устройстве в таких условиях быстро произойдет короткое замыкание и возникнут искры, так что этой цивилизации будут доступны только самые примитивные формы электрических приборов.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Любой мощный генератор или компьютер быстро сгорит. Можно вообразить, что такая цивилизация сможет рано или поздно освоить производство энергии из ископаемого топлива и даже ядерной энергии, но не научится обрабатывать большие объемы информации. На такой планете трудно создать Интернет или глобальную систему телекоммуникаций, что, естественно, будет тормозить развитие экономики и науки. Такая цивилизация сможет подняться по кардэшэвской шкале, но без компьютеров продвижение ее будет медленным и болезненным.

Карл Саган предложил другую классификацию, основанную на информационных возможностях. Он разработал систему, в которой буквы английского алфавита, от А до Z, соответствуют определенным объемам информации. Цивилизация типа А способна обрабатывать лишь миллион единиц информации, что соответствует цивилизации без письменности, где информация передается только устно. Если собрать всю информацию, дошедшую до нас из Древней Греции — цивилизации с развитым письменным языком и богатой литературой, мы получим около миллиарда единиц информации, что соответствует цивилизации типа С. Двигаясь по шкале вверх, можно оценить количество информации, с которой имеет дело современная цивилизация. Согласно квалифицированной оценке, сегодня человечество соответствует типу Н. Совместив энергетическую и информационную оценки, получим тип 0,7Н.

В последние годы на первый план вышел еще один фактор: загрязнение окружающей среды и отходы. Энергии и информации недостаточно, чтобы всесторонне оценить цивилизацию. Более того, чем больше энергии потребляет цивилизация и чем больше информации производит, тем сильнее страдает окружающая среда. Вопрос не академический, поскольку отходы цивилизаций I или II типа могут их попросту погубить.

К примеру, цивилизация II типа потребляет всю энергию, излучаемую звездой. Предположим, что двигатели, которые она

Будущее человечества

использует, имеют КПД 50%, т. е. половину потребляемой энергии переводят в полезную работу, а вторую половину выделяют в форме бесполезного тепла. Это может привести к настоящей катастрофе, ведь температура на планете будет расти, пока она не расплавится! Представьте себе планету с миллиардами угольных станций, выделяющих газы и тепло в громадных количествах, до тех пор, пока жизнь на планете не станет невозможной.

Фримен Дайсон однажды даже предлагал искать в космосе цивилизации II типа как объекты, от которых исходит преимущественно инфракрасное излучение, а не видимый свет и не рентгеновские лучи. Дело в том, что цивилизация II типа, даже если бы хотела скрыть свое присутствие от внешнего мира и построила вокруг своей звезды замкнутую сферу, все равно производила бы достаточно паразитного тепла, чтобы эта сфера ярко светилась в инфракрасном диапазоне. Дайсон предложил астрономам поискать звездные системы с инфракрасным в основном излучением. (Таких систем, однако, не нашлось.)

Но здесь возникает новый тревожный вопрос: бесконтрольный рост энергопотребления для любой цивилизации означает самоубийство. Таким образом, мы видим, что энергия и информация — не все, в чем нуждается цивилизация для успешного продвижения по шкале прогресса. Нужна новая шкала, которая принимала бы во внимание эффективность, паразитное тепло и загрязнение окружающей среды. Такая шкала разработана, и основывается она на концепции энтропии.

Классификация цивилизаций по энтропии

В идеале нам нужна цивилизация, растущая в плане энергооборуженности и обработки информации, но делающая это разумно, так чтобы планета не превратилась в невыносимо жаркую замусоренную пустыню.

Очень наглядно все это показано в диснеевском мультфильме «Валл-И», в котором по сюжету в отдаленном будущем

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

человек так загадил и испортил планету, что бросил ее как есть и переселился на роскошные космические корабли, где ведет легкую и приятную жизнь.

Именно здесь в игру вступают законы термодинамики. Первое начало утверждает, что невозможно получить что-нибудь даром, т. е. бесплатного сыра не бывает. Иными словами, сумма вещества и энергии во Вселенной постоянна. В главе 3, однако, мы выяснили, что второй закон термодинамики гораздо интереснее первого и, более того, когда-нибудь именно он может определить судьбу продвинутой цивилизации. Попросту говоря, второй закон термодинамики утверждает, что полное количество энтропии (беспорядка, или хаоса) во Вселенной растет. Это означает, что не может быть ничего вечного; все должно гнить, разлагаться, ржаветь, стареть или разваливаться. (Невозможно увидеть, чтобы энтропия *уменьшалась*. Так, ни один человек не видел, чтобы жареное яйцо спрыгнуло со сковородки и упаковалось обратно в скорлупу. Никто не видел, чтобы растворенные в чае крупинки сахара вдруг обратно запрыгнули в ложку. Вероятность такого события настолько мала, что даже выразить это словами невозможно.)

Итак, если гипотетическая цивилизация будущего начнет бездумно производить энергию, развиваясь и переходя к типу II или III, она получит так много паразитного тепла, что ее родная планета станет непригодной для жизни. Энтропия в форме паразитного тепла, хаоса и загрязнения окружающей среды, по существу, уничтожит цивилизацию. Точно так же, если ради производства информации цивилизация будет вырубать леса и громоздить горы бумажных отходов, она окажется погребенной под собственным информационным мусором.

Придется ввести еще одну шкалу для оценки и классификации цивилизаций. Введем два новых типа цивилизаций. Первый тип — цивилизация, сдерживающая рост энтропии и использующая все средства, находящиеся в ее распоряжении, для ограничения выбросов тепла и накопления отходов. По мере

Будущее человечества

роста (экспоненциального) ее энергетических запросов такая цивилизация неизбежно осознает, что дальнейший рост энергопотребления может сделать планету непригодной для жизни. Конечно, полную энтропию, возникающую в результате деятельности продвинутой цивилизации, ограничить невозможно; она и дальше будет расти по экспоненте, это неизбежно. Но местную энтропию на планете можно даже уменьшить, если разумно использовать нанотехнологии и возобновляемые источники энергии, исключить лишние потери и неэффективность.

Второй тип — это цивилизация, которая, не задумываясь о росте энтропии, продолжает расширяться и без конца увеличивать энергопотребление. Со временем, если родная планета становится непригодной для жизни, такая цивилизация пытается оставить ее и переселиться на другие планеты. Но создание колоний в открытом космосе — дорогое удовольствие, а возможности экстенсивного расширения небеспредельны. Если окажется, что рост энтропии опережает способность цивилизации к экспансии, ей будет грозить гибель.

Стать не властителями природы, а ее хранителями

Как уже упоминалось, в древности человечество пассивно созерцало танец природы, в изумлении взирая на окружающие его со всех сторон загадки и тайны. Сегодня человек скорее напоминает хореографа, он то и дело вмешивается в танец, корректируя силы природы то там, то здесь. К 2100 г. человек станет властелином природы, научится силой мысли двигать предметы, обретет власть над жизнью и смертью и потянется к звездам.

Но став властелином природы, человек должен быть и ее хранителем. Стоит допустить неумеренный рост энтропии — и законы термодинамики погубят человечество. Цивилизация II типа по определению потребляет энергии столько, сколько

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

выделяет звезда, и если все это потребление будет происходить на Земле, ее поверхность разогреется до весьма высоких температур. Но способы контролировать энтропию и сдерживать ее рост все же существуют.

К примеру, если посмотреть в музее на паровоз XIX в. с его огромным котлом и вагонами черного угля, можно увидеть, насколько он был неэффективен. Он производил полезную работу, но терял при этом огромное количество энергии в виде паразитного тепла и вредных отходов. Если сравнить его с беззвучным и обтекаемым современным электропоездом, не сложно убедиться, что энергию мы сегодня используем гораздо эффективнее. Необходимость в гигантских угольных электростанциях, выбрасывающих в воздух громадное количество тепла и загрязняющих веществ, можно серьезно снизить за счет повышения эффективности машин и приборов, за счет использования возобновляемых источников энергии и миниатюризации. Нанотехнологии, уменьшая машины до атомных размеров, дают нам возможность еще сильнее ограничить тепловое загрязнение.

Кроме того, если в этом столетии будут созданы сверхпроводники, сохраняющие свои свойства при комнатной температуре, потребности человечества в энергии необходимо будет полностью пересмотреть. Паразитное тепло, возникающее в основном от трения, почти исчезнет, эффективность машин резко вырастет. Мы уже говорили о том, что большая часть энергии, особенно в транспортных системах, тратится на преодоление трения. Именно поэтому нам приходится наполнять бензином бак автомобиля, хотя, если бы не трение, доехать от Калифорнии до Нью-Йорка можно было почти без затрат энергии. Скорее всего, продвинутая цивилизация сможет выполнять гораздо более серьезные задачи, чем мы сегодня, с гораздо меньшими энергетическими затратами. Это означает, что энтропию, питаемую такой цивилизацией, можно ограничить.

Самый опасный переход

Переход от сегодняшней цивилизации 0 типа к будущей цивилизации I типа — это, возможно, величайшее событие в истории. Именно в этот момент определяется, будет ли человечество процветать и развиваться дальше или погибнет от собственной глупости. Этот переход чрезвычайно опасен, поскольку человек по-прежнему остается заложником той варварской дикости, что сопровождала его медленный и болезненный подъем. Сорвите тонкий покров цивилизации — и вы увидите фундаментализм, сектантство, расизм, нетерпимость и подобные им силы в действии. Природа человека за последние 100 000 лет почти не изменилась, но сейчас у нас есть ядерное, химическое и биологическое оружие.

Но если переход к I типу все же произойдет, у нас впереди будет много веков на улаживание всех разногласий. Как мы видели в предыдущих главах, космические колонии еще надолго останутся чрезвычайно дорогим удовольствием, так что вряд ли можно предположить, что существенная часть человечества покинет Землю и отправится на колонизацию Марса или пояса астероидов. Пока не появится принципиально новая конструкция ракеты, которая сможет многократно снизить цены, или пока не будет построен космический лифт, путешествия в космос будут оставаться прерогативой правительственных организаций и очень богатых любителей. Для большинства обитателей Земли это означает, что и после обретения человечеством статуса цивилизации I типа они останутся жить на родной планете. Это означает также, что в составе единой планетарной цивилизации у нас будет достаточно времени на то, чтобы понять друг друга и разрешить старые споры.

Поиск мудрости

Мы живем в интереснейшее время. Наука и техника открывают перед человечеством новые миры, о которых прежде мы мог-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

ли только мечтать. Глядя на будущее науки, со всеми ее проблемами и опасностями, я испытываю искреннюю надежду. В ближайшие десятилетия мы узнаем об окружающем мире больше, чем узнали за всю историю человечества, — во много раз больше.

Но так было не всегда.

Стоит подумать над словами Бенджамина Франклина, последнего великого ученого и государственного деятеля США предсказание которого относится не к следующему веку, а по крайней мере к следующему тысячелетию. В 1780 г. он заметил с сожалением, что люди часто ведут себя по отношению друг к другу как волки, в основном потому, что к этому вынуждают их желание выжить в этом суровом мире.

Франклин писал: «Невозможно представить, на какие высоты может подняться через тысячу лет власть человека над материей. Может быть, мы научимся лишать вес тяжести и придавать ему абсолютную легкость, чтобы легче было перевозить. Сельское хозяйство, возможно, будет требовать меньше труда и давать удвоенный продукт. Все болезни можно будет предотвратить или вылечить, не исключая даже и старость, а жизнь продлить на сколько угодно, до допотопных мерок и даже более».

Франклин писал в те времена, когда крестьяне владели жалкое существование и едва себя прокармливали, когда телеги, запряженные медлительными быками, везли испорченные продукты на рынок, когда голод и эпидемии были привычны и лишь некоторым счастливым удавалось прожить больше 40 лет. (В Лондоне в 1750 г. две трети детей не доживало до пяти лет.) Франклин жил во времена, когда трудно было надеяться, что когда-нибудь человек сумеет решить эти вековые проблемы. Или, как писал в 1651 г. Томас Гоббс (Thomas Hobbes), жизнь была «одиноким, бедным, отвратительным, жестоким и коротким».

Но сегодня, хотя тысяча лет, о которой говорил Франклин, еще далеко не миновала, его предсказания уже сбываются.

Будущее человечества

Вера в то, что здравый смысл, наука и разум когда-нибудь освободят нас от тяжелого груза прошлого, прозвучала и в книге маркиза де Кондорсе «Набросок к исторической картине о прогрессе человеческого разума» (1795). Некоторые считают, что это самое точное из всех когда-либо написанных предсказаний будущего. В этой книге маркиз сделал множество самых разных предсказаний; все они в момент написания звучали еретически, но все сбылись. Он предсказал, что колонии Нового Света со временем освободятся от власти Европы и начнут быстро развиваться, с успехом воспользовавшись европейскими технологиями. Он предсказал, что рабство во всем мире будет уничтожено. Он предсказал резкое увеличение урожайности сельского хозяйства и качества продуктов; быстрое развитие науки и великую пользу, которую принесет она человечеству. Он предсказал, что, помимо каждодневной работы в поте лица, у человека появится свободное время, которым он сможет распоряжаться по своему усмотрению, и что когда-нибудь широкое распространение получит контроль над рождаемостью.

В 1795 г. рассчитывать на то, что эти предсказания исполнятся, было бы странно.

Бенджамин Франклин и маркиз де Кондорсе жили в те времена, когда жизнь была короткой и жестокой, а наука находилась в зачаточном состоянии. Оглядываясь сегодня на эти предсказания, мы можем полнее оценить прогресс науки и техники, который за последние 200–300 лет создал достаточно материальных благ, чтобы вытащить миллиарды людей из мрака и дикости прошлого. Оглядываясь назад, мы понимаем, что из всех творений человеческого ума наука — самое важное и полезное. Именно наука вытянула человека из трясины невежества и направила на путь к звездам.

Но наука не стоит на месте. Как мы уже упоминали, к 2100 г. человек обретет могущество, достойное древних богов, которым он когда-то поклонялся и перед которыми трепетал. В частности, компьютерная революция позволит нам мысленно управ-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

лять материальными объектами, биотехнологическая революция научит создавать живые существа с нужными свойствами на заказ и продлит жизнь, а нанотехнологическая революция даст возможность изменять форму объектов и даже создавать их «из ничего». Со временем все это сделает нас планетарной цивилизацией I типа.

Но сама по себе наука этически нейтральна. Это что-то вроде обоюдоострого меча. Одна его сторона борется против бедности, болезней и невежества, а другая может быть направлена против людей. Как и кого будет рубить этот меч, определяют те, в чьих руках он находится.

Эйнштейн однажды сказал: «Наука может определить лишь, что есть, но не что будет; а вне царства науки по-прежнему необходима моральная оценка». Наука решает одни проблемы, при этом создавая другие, но на более высоком уровне.

Во время Первой и Второй мировых войн мир в ужасе наблюдал, как наука несет разрушение и гибель в невиданных прежде масштабах; вспомним отравляющие газы, пулеметы, ковровые бомбардировки городов и атомную бомбу. Первая половина XX в. стала свидетелем первобытной дикости и невероятной жестокости.

Но это не все. Наука позволила человечеству поднять разрушенные города и страны из руин войны, обеспечить мир и процветание миллиардам людей. Истинное могущество науки в том, что она увеличивает наши возможности и придает силы, предоставляя нам выбор. С одной стороны, наука способствует изобретательности, творчеству и терпению, присущим человечеству, но с другой — усиливает и наши явные недостатки.

Ключ к будущему: мудрость

Таким образом, человечеству очень важно обрести мудрость и направить меч науки в нужную сторону. Иммануил Кант однажды сказал: «Наука — это организованное знание. Мудрость —

Будущее человечества

это организованная жизнь». На мой взгляд, мудрость состоит в том, чтобы разглядеть важнейшие черты времени, тщательно проанализировать их, а затем выбрать то, что несет в себе какую-нибудь благородную цель или принцип.

В нашем обществе трудно обрести мудрость. Айзек Азимов однажды сказал: «Самое печальное в нынешнем обществе то, что наука аккумулирует знания быстрее, чем общество обретает мудрость». В отличие от информации, мудрость невозможно распространять через блоги и интернет-чаты. Мы тонем в потоке информации, и потому самое ценное в современном обществе — мудрость и здравый смысл. Без мудрости и озарения нам придется плыть бесцельно по ветру и ощутить пустоту внутри, как только пройдет опьянение, вызванное неограниченной информационной свободой.

Но откуда берется мудрость? Отчасти из аргументированных и информированных демократических дебатов, в которых участвуют противоборствующие стороны. Эти бурные дебаты часто бывают путанными и неприглядными, но в дыму и грохоте словесных сражений часто рождается настоящее озарение. В нашем обществе подобные дебаты идут в рамках демократического процесса. Как заметил однажды Уинстон Черчилль, «демократия — это худшая форма правления, не считая всех остальных, что когда-либо пробовало человечество».

Жить при демократии непросто. Над ней надо работать. Джордж Бернард Шоу однажды сказал: «Демократия — это гарантия того, что нами будут управлять не лучше, чем мы заслуживаем».

Сегодня гарантом демократических свобод становится Интернет со всеми его недостатками и эксцессами. Вопросы, которые когда-то обсуждались за закрытыми дверями, сегодня препарируются и анализируются на тысячах веб-сайтов.

Диктаторы живут в постоянном страхе перед Интернетом, с ужасом ожидая народного восстания. Сегодня кошмар, описанный в романе «1984», уже не угрожает человечеству, а Ин-

тернет из инструмента террора превращается в инструмент демократии.

В многоголосье спора рождается истина. Но самый верный способ побудить людей к энергичным демократическим спорам — это образование. Только образованный избиратель способен принимать решения о технологиях, которые определят судьбу нашей цивилизации. В конечном итоге люди должны решить для себя, как далеко и в каком направлении развивать эту технологию.

К несчастью, многие находятся в блаженном неведении относительно громадных проблем, которые ожидают нас в будущем. Как создавать новые отрасли промышленности, которые должны прийти на смену старым? Как готовить молодых людей к рынку труда будущего? Как далеко можно зайти в генной инженерии человека? Как можно заставить разлагающуюся и плохо работающую систему образования дать достойный ответ на вызовы будущего? Как противостоять грядущему глобальному потеплению и распространению ядерного оружия?

Задача этой книги — дать старт дебатам, которые определят реальный курс этого столетия.

Будущее как грузовой поезд

Будущее создавать нам. Ничто не записано на скрижалях времени и не высечено на камне. Шекспир в трагедии «Юлий Цезарь» писал: «Не звезды, милый Брут, а сами мы виновны в том, что сделались рабами». Или, как заметил однажды, хотя и не столь красноречиво, Генри Форд: «История — это в основном вздор. Это традиция. Нам не нужна традиция. Мы хотим жить в настоящем, и единственная традиция, которая чего-то стоит, — это та, что мы создаем сегодня».

Будущее похоже на громадный грузовой поезд, который несется по рельсам в нашу сторону. За ним — пот и труд тысяч ученых, изобретающих будущее в своих лабораториях.

Будущее человечества

При желании можно услышать гудок этого состава, в котором слышатся слова: биотехнологии, искусственный интеллект, нанотехнологии, телекоммуникации. Тем не менее кое-кто возражает: «Я слишком стар. Я не смогу все это освоить. Я просто лягу на рельсы, и пусть поезд меня задавит». Однако реакция молодых, энергичных и амбициозных звучит иначе: «Возьмите меня с собой! Этот поезд — мое будущее! Это моя судьба. Пустите меня на место машиниста!»

Будем надеяться, что люди нового века сумеют использовать меч науки с состраданием и мудростью.

Чтобы представить себе, как будет выглядеть планетарная цивилизация, полезно, пожалуй, прожить один день в 2100 г. и посмотреть, как изменится повседневная жизнь человека под влиянием новых технологий, как изменятся его карьера, его надежды и мечты.

9. ОДИН ДЕНЬ В 2100 Г.

1 ЯНВАРЯ 2100 Г., 06:15

От Аристотеля до Фомы Аквинского совершенствование означало мудрость, основанную на опыте и отношениях с людьми, через которые на конкретном примере познается добродетельная жизнь.

В современном мире совершенствование человека — задача не генной инженерии, а воспитания.

Стивен Пост (Steven Post)

После традиционной ночной встречи Нового года вы еще спите.

Внезапно загорается настенный экран. На экране появляется знакомое приветливое лицо. Это Молли, новая программа, которую вы приобрели совсем недавно. Молли бодро объявляет:

— Джон, проснитесь. Вы срочно нужны в офисе. Лично. Это важно.

— В чем дело, Молли? Ты, должно быть, шутишь, — ворчите вы. — Сегодня Новый год, я с похмелья. И вообще, что там может произойти такого важного?

Вы медленно и с трудом вылезаете из постели и неохотно тащитесь в ванную. Пока вы умываетесь, сотни скрытых ДНК- и белковых датчиков в зеркале, унитазе и раковине безмолвно включаются и проводят анализ на молекулярном уровне. Приборы ищут малейшие признаки всевозможных заболеваний.

Выйдя из ванной, вы надеваете на голову устройство с электродами и проводами, позволяющее мысленно управлять всей домашней техникой: вы командуете повысить температуру в квартире, включить спокойную музыку, отдаете роботизированному повару приказ приготовить завтрак и сварить кофе, а магнитному автомобилю — выехать из гаража и ждать вас у ворот. Вы проходите на кухню и видите, как механическая рука

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

роботизированного повара готовит для вас яйца — в точности так, как вы любите.

После этого вы надеваете контактные линзы и входите в Интернет. Достаточно мигнуть — и перед вами появляется экран Интернета, проецируемый непосредственно на сетчатку глаза. Вы пьете кофе и просматриваете новостные заголовки.

- Марсианская станция запросила дополнительные припасы. Приближается марсианская зима. Чтобы успешно завершить очередной этап плана колонизации, поселенцы нуждаются в дополнительных ресурсах с Земли, которые позволили бы им бороться с холодами. В планах — начало терраформирования Марса путем повышения температуры его поверхности.
- Первые звездолеты готовы к пуску. Миллионы наноботов размером с булавочную головку будут отправлены в полет с лунной базы, пролетят мимо Юпитера, используя для разгона магнитное поле планеты-гиганта, и направятся к одной из ближайших звезд. Однако пройдут годы, прежде чем некоторые из этих наноботов доберутся до места назначения.
- В местном зоопарке ожидается появление очередного вымершего животного. На этот раз речь идет о редком виде саблезубого тигра, восстановленного по ДНК из найденного в тундре замороженного трупа древнего животного. В связи с потеплением в руки ученых попадает все больше ДНК вымерших животных, клоны которых пополняют коллекции зоопарков по всему миру.
- Космический лифт, прежде только доставлявший в космос грузы, начинает осуществлять первые туристические поездки в открытый космос. За последние годы, с момента открытия космического лифта, цены на космические путешествия упали в 50 раз.

ОДИН ДЕНЬ В 2100 Г.

- Старейшим термоядерным станциям скоро исполнится 50 лет. Часть из них пора выводить из эксплуатации и заменять новыми.
- Ученые внимательно наблюдают за новым смертельным вирусом, который внезапно появился в джунглях Амазонки. До сих пор его распространение, судя по всему, ограничено небольшим районом, но заболевание, которое он вызывает, пока неизлечимо. Ученые лихорадочно секвенируют гены загадочного вируса, пытаясь определить его слабые места и найти способ борьбы с ним.

Вдруг одна из новостей привлекает ваше внимание:

- Неожиданно выявлена крупная течь в дамбе, прикрывающей Манхэттен. Если справиться с течью не удастся, весь город может оказаться под водой, как уже произошло с десятками городов по всему миру.

— Ого! — говорите вы себе. — Так вот почему меня вызывают в офис!

Вы бросаете недоеденный завтрак, поспешно одеваетесь и вылетаете за дверь. У ворот вас ждет машина, выехавшая по команде из гаража. Вы телепатически приказываете машине везти вас на работу как можно быстрее. Магнитный автомобиль тут же связывается с Интернетом, получает данные со спутников GPS Block VII и миллиардов датчиков, скрытых под дорожным покрытием. Несколько секунд — и полная картина движения перед вами.

Магнитный автомобиль бесшумно трогается с места, скользя по магнитной подушке над сверхпроводящим покрытием. Внезапно на лобовом стекле появляется лицо Молли.

— Джон, из офиса передали: всем собраться в конференц-зале. А еще получено видеосообщение от вашей сестры.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Машина едет сама, так что у вас есть время просмотреть видеопочту, полученную от сестры. Ее лицо появляется на ваших наручных часах и произносит:

— Джон, не забудь, в эти выходные у нас вечеринка в честь дня рождения Кевина, ему исполняется шесть. Ты обещал купить ему последнюю модель робота-собаки. И кстати, ты с кем-нибудь встречаешься? Я тут играла в бридж по Интернету и познакомилась кое с кем. Она может тебе понравиться.

— Ого! — говорите вы себе.

Вам очень нравится ездить в магнитном автомобиле. Никаких ударов, никаких ям на дороге, ведь машина практически летит над землей. А лучше всего то, что эту машину почти не надо заправлять, ведь ее движению не мешает трение. (Трудно поверить, думаете вы, что еще в начале века на планете был энергетический кризис. Вы качаете головой, понимая, что большая часть энергии уходила на преодоление трения.)

Вы помните, как открывали первую сверхпроводящую дорогу. Средства массовой информации наперебой сетовали, что век электричества подходит к концу, а ему на смену идет век магнетизма. На самом деле вам нисколько не жаль уходящего электричества. Вы выглядываете в окно, видите обтекаемые машины, грузовики и поезда, проносящиеся по воздуху мимо, и понимаете, что магнетизм — это верный путь, к тому же он позволяет сэкономить.

Магнитный автомобиль проносится мимо городской свалки. Вы видите, что большая часть мусора — это детали от роботов и компьютеров. Микросхемы продаются почти даром, дешевле воды, и горы устаревших образцов копятя на городских свалках по всему миру. Уже идут разговоры об использовании микросхем для подъема грунта и насыпки искусственных островов.

Офис

Вот наконец и офис, штаб-квартира крупной строительной компании. Входя, вы почти не замечаете, как лазерное устройство

ОДИН ДЕНЬ В 2100 Г.

беззвучно проверяет вашу радужную оболочку и идентифицирует лицо. Никаких пластиковых карточек-пропусков. Ваш документ — тело.

Конференц-зал почти пуст, за столом всего несколько сотрудников. Но затем трехмерные образы остальных участников появляются в ваших контактных линзах и заполняют пустые места. Те, кто не смог приехать в офис, присутствуют голографически.

Вы обводите взглядом стол. Линзы идентифицируют для вас присутствующих, знакомят с их биографическими и профессиональными данными. Вы замечаете, что на совещании присутствует немало важных шишек.

В кресле неожиданно формируется образ вашего босса.

— Господа, — объявляет он, — вы вероятно слышали о течи в манхэттенской дамбе. Дело серьезное, но мы успели вовремя, опасности прорыва уже нет. К несчастью, роботам, которых мы отправили для ремонта дамбы, не удалось выполнить задачу.

Свет в зале меркнет, и вас со всех сторон окружает трехмерное изображение подводной части дамбы. Вы в воде, перед вами — гигантская трещина в дамбе.

Изображение поворачивается, и вы видите, где именно возникла течь. Ваше внимание привлекает большая странная вмятина в теле дамбы.

— Роботов недостаточно, — продолжает ваш босс. — Течь такого типа не предусмотрена их программой. Необходимо послать вниз опытных людей, которые могли бы оценить ситуацию и на месте решить, что делать. Я надеюсь, вам не нужно напоминать, что в случае нашей неудачи Нью-Йорк ждет судьба других великих городов, некоторые из которых полностью ушли под воду.

Люди за столом переглядываются. Все знают названия городов, покинутых населением из-за подъема уровня океана. Хотя прошло уже несколько десятков лет с тех пор, как возобновляемые источники и термоядерная энергия сменили ископае-

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

мое топливо в качестве основного источника энергии на планете, человечество до сих пор страдает от излишков углекислого газа, попавших в атмосферу в первой половине века.

После обсуждения решено послать команду ремонтных роботов, каждым из которых дистанционно управляет человек. Это ваша задача. Вы участвовали в разработке этих роботов. Специально обученные люди размещаются в ячейках и надевают на головы шлемы с электродами. Сигналы мозга позволяют им установить с роботами телепатическую связь. Находясь в ячейках в здании штаб-квартиры компании, рабочие видят и чувствуют все, что видят и чувствуют роботы. Они как будто находятся на месте событий, но в новых сверхчеловеческих телах.

Вы по праву гордитесь своей разработкой. Телепатически управляемые роботы уже много раз доказали свою полезность. Лунной базой управляют в основном люди, с комфортом и в полной безопасности лежащие в своих ячейках на Земле. Но поскольку радиосигнал идет с Земли до Луны более секунды, рабочим приходится учитывать эту временную задержку, что требует серьезной подготовки.

(Разумеется, вам очень хотелось бы отправить своих роботов и на Марс, но сигналу иногда требуется 20 минут на путь туда и 20 — на обратный путь, так что дистанционное управление марсианскими роботами было бы неэффективным. Увы, несмотря на весь технический прогресс, есть одна вещь, которую человек никак не может изменить: это скорость света.)

Но кое-что на совещании по-прежнему беспокоит вас.

Наконец вы собираетесь с духом и прерываете босса.

— Сэр, мне не хочется этого говорить, но трещина выглядит очень подозрительно. Похоже, она оставлена одним из наших собственных роботов.

Зал тут же наполняется недовольными голосами.

— Наш робот? Невозможно! Это абсурд! Ничего подобного никогда не было! — протестуют присутствующие.

ОДИН ДЕНЬ В 2100 Г.

Босс восстанавливает в зале тишину и мрачно отвечает:

— Я боялся, что кто-нибудь об этом скажет, так что имейте в виду: это очень важный момент, и необходимо держать его в строгом секрете. Информация не должна выйти из этой комнаты до тех пор, пока мы не подготовим соответствующий пресс-релиз. Да, течь возникла по вине одного из наших роботов, который неожиданно вышел из-под контроля.

В зале начинается столпотворение. Люди недоуменно качают головами: как такое может быть?

— До сих пор наши роботы работали безукоризненно, — настаивает босс. — Абсолютно безукоризненно. Ни один робот ни разу не отошел от программы. Их предохранительные механизмы снова и снова доказывают свою эффективность. Репутация наших роботов очень важна. Но вы все знаете, что в последнем поколении наших роботов стоят квантовые компьютеры, причем самые мощные; интеллект этих роботов уже приближается к человеческому. Да, к человеческому интеллекту. А в квантовой теории всегда существует небольшая, но реальная вероятность какого-то нежелательного события. В данном случае робот просто взбесился.

Вы обессиленно падаете в кресло, ошеломленные этой новостью.

Опять дома

День выдался ужасно долгим — сначала пришлось организовать ремонтную бригаду из дистанционно управляемых роботов, затем отключать всех экспериментальных роботов, в которых установлены квантовые компьютеры, — по крайней мере до тех пор, пока не будет установлена и устранена причина сбоя. Вымотанные, вы наконец возвращаетесь домой. Стоит вам опуститься в любимое кресло, на экране вновь появляется Молли.

— Джон, вас ждет важное сообщение от доктора Брауна.
Доктор Браун? Что еще скажет вам роботодоктор?

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

— Дай его на экран, — говорите вы Молли. На стене появляется лицо врача. «Доктор Браун» настолько реалистичен, что вы иногда забываете, что это всего лишь компьютерная программа.

— Не хочется беспокоить вас, Джон, но я должен обратить ваше внимание на одну вещь. Помните прошлогодний несчастный случай на горных лыжах, когда вы едва не погибли?

Ну еще бы не помнить! До сих пор при воспоминании о том случае по спине пробегает холодок. Дело было в Альпах — на одной из немногих оставшихся горнолыжных баз. Поскольку большая часть альпийских снегов растаяла, пришлось поехать на незнакомый высокогорный курорт. Не зная местности, не рассчитал движение и на скорости 60 км/ч врезался в дерево. Ух!

А доктор Браун продолжает:

— Я вижу по записям, что вы тогда потеряли сознание, получили сотрясение мозга и серьезные внутренние травмы, но ваша одежда спасла вас. Пока вы были без сознания, вделанные в одежду чипы автоматически вызвали медицинскую помощь, скачали для них ваши медицинские данные и назвали точные координаты. В больнице роботы провели микрохирургическую операцию, остановили кровотечение, зашили поврежденные сосуды и подлечили другие травмы.

— Ваш желудок, печень и кишечник оказались очень сильно повреждены и лечению не поддавались, — напоминает доктор Браун. — К счастью, мы успели вырастить для вас новые органы.

Внезапно вы чувствуете себя немножко роботом — ведь значительная часть ваших внутренних органов искусственно выращена на биофабрике.

— Вы знаете, Джон, в моих записях также сказано, что вы могли заменить раздробленную руку на полностью механическую. Роботизированная рука последней модели увеличила бы вашу силу в пять раз. Но вы отказались.

— Да, — отвечаете вы, — знаете, я пока достаточно старомоден. Мне кажется, что плоть и кровь всегда лучше стали.

ОДИН ДЕНЬ В 2100 Г.

— Джон, ваши новые органы необходимо периодически проверять. Возьмите, пожалуйста, МРТ-сканер и медленно проведите им вдоль тела в области желудка.

Вы идете в ванную, берете небольшое устройство размером примерно с сотовый телефон и медленно проводите им вдоль живота. На стене тут же вспыхивает трехмерное изображение ваших внутренних органов.

— Джон, мы тщательно проанализируем эти изображения и посмотрим, как идет заживление. Кстати, сегодня утром ДНК-датчики в ванной обнаружили в вашей поджелудочной железе рак.

— Рак? — вы резко выпрямляетесь. Вы в недоумении. — Но я думал, что рак победили много лет назад. Никто о нем теперь не говорит. А теперь вдруг у меня рак?

— На самом деле ученым не удалось победить рак. Окончательно излечивать его так и не научились. Сейчас у нас с раком, скажем так, перемирие, патовая ситуация. Разновидностей рака слишком много, примерно как разновидностей простуды. Ее, кстати, мы тоже не научились лечить. Мы просто сдерживаем ее. Я заказал наночастицы, чтобы покончить с раковыми клетками. Их всего несколько сотен. Обычная процедура. Но без этого своевременного вмешательства вы, вероятно, умерли бы лет через семь, — невозмутимо завершает врач.

— Знаешь, ты меня порадовал, — мысленно комментируете вы.

— Да, сегодня мы можем обнаружить рак за много лет до формирования опухоли, — продолжает доктор Браун.

— Опухоль? Что это?

— О, это старое слово для далеко зашедшего рака. Оно почти исчезло из языка. Мы их теперь и не видим, — добавляет рободоктор.

Вы вдруг вспоминаете — а за суетой дня утренний разговор практически забылся, — что сестра грозилась свести вас с кем-то. Вы снова вызываете Молли.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

— Молли, эти выходные у меня свободны. Можешь организовать для меня свидание с девушкой? Ты знаешь, какой тип мне нравится.

— Да, ваши предпочтения имеются у меня в памяти. Подождите минутку, я посмотрю в Интернете.

Через минуту Молли выдает на экран данные на потенциальных кандидаток, которые в этот момент тоже сидят перед своими настенными экранами и задают тот же вопрос.

Просмотрев досье, вы наконец выбираете одну из симпатичных девушек. Ее зовут Карен, и она почему-то кажется вам не такой, как остальные.

— Молли, отправь Карен вежливое сообщение с вопросом, свободна ли она в эти выходные. Открылся новый ресторан, и я хочу туда заглянуть.

Молли посылает Карен ваш профиль видеопочтой.

В этот же вечер вы устраиваете вечеринку с пивом для коллег; вы планируете вместе посмотреть спортивный матч. Конечно, ваши приятели могли бы появиться у вас голографически, но болеть за местную команду почему-то приятнее, действительно находясь вместе. Вы улыбаетесь, подумав, что так же, наверное, сидели у костра пещерные люди тысячи лет назад, скрепляя физическим контактом дружеские и родственные узы.

Внезапно вся гостиная освещается, и вы как будто оказываетесь на поле для американского футбола, на 50-ярдовой линии. Совсем рядом квотербек передает мяч вперед. Игра идет одновременно со всех сторон.

Во время перерыва вы с приятелями начинаете обсуждать игроков. За пивом и попкорном вы горячо спорите, кто из игроков больше всех тренируется, настойчивее всех занимается, у кого лучшие тренеры и лучший специалист по генной терапии. С местной командой, соглашаются все, работает лучший в Лиге специалист-генетик, у игроков — лучшие гены, какие только можно купить за деньги.

ОДИН ДЕНЬ В 2100 Г.

Приятели уходят, но вы слишком возбуждены, чтобы заснуть. Вы решаете сыграть перед сном в покер.

— Молли, уже поздно, но мне хочется сыграть партию в покер. Я чувствую, что сегодня мой день. Кто-то же не спит сейчас в Англии, Китае, Индии или России... может, кто-нибудь захочет сыграть несколько партий.

— Никаких проблем, — отвечает Молли, и на экране появляется несколько потенциальных противников по игре. Затем в вашей гостиной формируются трехмерные образы игроков, появляются карты. Интересно, думаете вы, кто лучше всего блефует. Вообще забавно, но вы лучше знаете людей в далеких странах, чем соседей по дому. Государственные границы почти потеряли смысл.

Наконец, когда вы уже ложитесь, Молли вновь появляется в зеркале в ванной.

— Джон, Карен приняла ваше приглашение на выходные. Я закажу столик в том новом ресторане. Хотите просмотреть ее профиль? И еще, хотите, я проверю в Интернете, правду ли она о себе написала? Бывали случаи... ну, вы знаете... люди иногда...э-э... лгут о себе.

— Нет, — говорите вы. — Пусть это будет сюрпризом на выходные.

После покера вы остро чувствуете: удача с вами.

Выходные

Пришли выходные, пора купить подарок для Кевина.

— Молли, дай на экран магазин.

На настенном экране появляется изображение крупного универмага. При помощи рук и пальцев вы заставляете картинку двигаться и путешествуете по магазину, пока не попадаете в отдел игрушек. Да, у них есть в точности такой робот-собака, какой вам нужен. Вы телепатически приказываете своему автомобилю отвезти вас в тот торговый центр,

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

по которому только что гуляли виртуально. (Конечно, вы могли бы заказать игрушку прямо по Интернету или запросить по электронной почте чертежи, по которым ваш фабрикатор изготовил бы игрушечную собаку прямо у вас дома из программируемого вещества. Но полезно иногда выйти из дома и купить что-нибудь по-настоящему.)

Проезжая по городу в магнитном автомобиле, вы смотрите по сторонам и видите прогуливающих людей. Чудесная погода. Вы видите также всевозможных роботов. Роботы для выгуливания собак. Роботы-клерки, роботы-повара, роботы-секретари и роботы — домашние любимцы. Создается впечатление, что все опасные и монотонные занятия, а также дела, в которых требуется лишь самое простое общение, стали прерогативой роботов. Больше того, роботы теперь — это большой бизнес. Куда ни помотришь, везде видны объявления: требуются, требуются, требуются. Требуются все, кто может ремонтировать, обслуживать, модифицировать или создавать роботов. Каждого, кто имеет отношение к робототехнике, ждет прекрасное будущее. Индустрия роботов теперь намного масштабнее, чем автоиндустрия прошлого столетия. Причем большинство роботов, вспоминаете вы, скрыто от глаз; эти роботы незаметно и совершенно бесшумно ремонтируют городскую инфраструктуру и обеспечивают город всем необходимым.

Вы подходите наконец к магазину игрушек, и робот-клерк приветствует вас:

— Что я могу для вас сделать?

— Я хочу приобрести робота-собаку.

Вам демонстрируют последние модели роботов-собак. Просто поразительно, как много они умеют, думаете вы. Механические собаки умеют играть, бегать, приносить брошенные предметы — в общем, все, что делает настоящая собака. Только на ковер не писают. Может быть, именно поэтому родители покупают их детям, рассуждаете вы.

Затем вы говорите робоклерку:

ОДИН ДЕНЬ В 2100 Г.

— Я покупаю робопса для своего шестилетнего племянника. Он очень умный мальчик и общительный. Но иногда он бывает стеснительным и тихим. Какая модель собаки могла бы вытащить его из раковины?

Робот отвечает:

— Простите, сэр, в моей программе ничего такого нет. Может быть, вас заинтересуют космические игрушки?

А вы и забыли, что роботы, какими бы продвинутыми они ни были, пока еще очень далеки от понимания психологии человека.

После этого вы заходите в отдел мужской одежды. Пора заменить надоевшую одежду, да и на девушку хочется произвести впечатление. Вы примеряете несколько дизайнерских костюмов. Все они выглядят стильно, но размер явно не ваш. Вы разочарованы. Но затем вы достаете кредитку, на которой записаны все ваши мерки. Ваши данные вводят в компьютер; костюм будет раскроен и пошит на фабрике и доставлен к вам домой. Подойдет идеально.

Наконец вы заходите в супермаркет. Просматриваете чипы, скрытые в каждой пластиковой упаковке, и сравниваете в линзах цены и качество продуктов в разных магазинах города. И не надо гадать, где продукты лучше и дешевле.

Свидание

Всю неделю вы думаете о будущем свидании и, откровенно говоря, ждете его с нетерпением. Готовясь к встрече с Карен, вы вновь ощущаете себя школьником — даже удивительно, ведь ничего особенного не происходит. Вы решаете, что если приглашать ее после обеда домой, нужно основательно подновить мебель. К счастью, большая часть кухонных шкафчиков и мебели в гостиной сделана из программируемого вещества.

— Молли, — говорите вы, — можешь показать мне каталог новой кухонной мебели от производителя? Я хочу кое-что перепрограммировать. Все выглядит таким старым!

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Скоро на экране появляются картинки с образцами новейшего кухонного дизайна.

— Молли, скачай, пожалуйста, чертежи вот этой стойки, этого дивана и этого стола, а затем установи их.

Пока вы собираетесь на свидание, Молли загружает и активизирует чертежи. Тут же кухонная стойка, диван в гостиной и стол начинают растворяться, превращаясь в бесформенную массу вроде шпаклевки, из которой затем постепенно формируются новые предметы мебели. Через час ваша квартира выглядит как новенькая. (Вы недавно просматривали каталоги недвижимости в Интернете и обратили внимание на то, что в моду входят дома из программируемого вещества. Мало того, ваша инженерная компания планирует построить в пустыне совершенно новый город целиком из программируемого вещества. Нажимаешь на кнопку — бах! — и возникает город.)

А квартира все-таки смотрится немного потертой, решаете вы. Один взмах рукой — цвет и рисунок на обоях мгновенно меняется. Иметь умные обои лучше, конечно, чем перекрашивать стены, говорите вы себе.

Купив по пути цветы, вы заезжаете за Карен. Вы приятно удивлены. На этот раз попадание абсолютно точное, что-то неслышно щелкнуло.

За обедом вы выясняете, что Карен художница. В обычных условиях, шутит она, она была бы нищей, голодала и продавала свои картины у большой дороги за гроши. Вместо этого она очень успешный веб-дизайнер. Более того, у нее своя компания. Похоже, что всем срочно понадобился самый современный дизайн для Сети. На творчество сейчас бешеный спрос!

Карен рисует пальцем круги в воздухе, и некоторые ее движения оставляют в воздухе материальный след.

— Вот кое-что из моих последних работ, — гордо говорит она.

Вы отвечаете:

— Вы знаете, я инженер, я постоянно работаю с роботами. Некоторые из них просто чудо техники, но даже они иногда

ОДИН ДЕНЬ В 2100 Г.

могут поступать глупо. А как у вас? Роботы не составляют вам конкуренцию?

— Нет, нисколько, — отвечает Карен. Она говорит, что работает исключительно с творческими людьми, главное достоинство которых — воображение, которым не обладают даже самые продвинутые роботы.

— Может быть, я старомодна, но в моей области роботы годятся только для изготовления копий или секретарской работы, — говорит она гордо. — Хотела бы я посмотреть, как робот сделает что-нибудь по-настоящему оригинальное, придумает шутку, напишет роман или сочинит симфонию.

(Да, пока такое невозможно, но в будущем кто знает, думаете вы про себя.)

Пока она говорит, у вас возникает неожиданный вопрос. Сколько вашей новой знакомой лет? Поскольку процессы старения медики научились замедлять уже много лет назад, возраст человека теперь определить очень трудно. На ее веб-сайте возраст не указан, а выглядит Карен лет на двадцать пять, не больше.

Проводив Карен домой, вы от нечего делать начинаете фантазировать. Интересно, каково было бы жить с таким человеком, как Карен? Провести вместе всю оставшуюся жизнь? Но что-то вас беспокоит. Что-то неопределенное не давало вам покоя весь день.

Вы оборачиваетесь к настенному экрану и говорите:

— Молли, вызови, пожалуйста, доктора Брауна.

Как хорошо, что роботодоктор всегда отвечает на вызовы, думаете вдруг вы. Не важно, какой сейчас день и какое время суток. И он никогда не жалуется и не болеет. Он на это не запрограммирован.

На экране мгновенно появляется лицо доктора Брауна.

— Тебя что-то беспокоит, сынок? — отечески спрашивает он.

— Док, я хочу задать вам вопрос, который беспокоит меня в последнее время.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

— Да, что за вопрос?

— Док, сколько, по вашему мнению, я проживу?

— Вы имеете в виду ожидаемую продолжительность жизни? Дело в том, что мы этого не знаем. По документам вам семьдесят два года, но биологически ваши органы тянут скорее на тридцать. Вы принадлежите к первому поколению, которое на генетическом уровне было перепрограммировано на долгую жизнь. Вы выбрали в качестве стабильного тридцатилетний возраст. Из вашего поколения еще мало кто умер, так что у нас просто нет данных. Нам неоткуда знать, сколько вы проживете.

— Вы думаете, я буду жить вечно? — спрашиваете вы.

— И будете бессмертны? — доктор Браун хмурится. — Нет, я так не думаю. Существует большая разница между человеком, который живет вечно, и человеком, продолжительность жизни которого так велика, что ее пока не удалось измерить.

— Но я же не старею! — возражаете вы. — Как же я, по вашему, узнаю, когда... — вы останавливаетесь на полуслове. — Ну хорошо... Видите ли, я только что встретился кое с кем, знаете, особенным, и если я вдруг захочу соединить с ней свою жизнь, как мне согласовать свои жизненные сроки с ее? Если мое поколение прожило еще недостаточно долго, чтобы умирать, — продолжаете вы, — то как мне определить, когда пора жениться, когда заводить детей, когда уходить на пенсию? Вообще, как мне планировать жизнь?

— Я не знаю ответа на этот вопрос, Джон. Видите ли, род человеческий сейчас в каком-то смысле играет роль подопытной морской свинки, — говорит доктор Браун. — Извините, Джон. Здесь вам придется действовать наугад.

Следующие несколько месяцев

Следующие несколько месяцев полны для вас с Карен чудесных сюрпризов. Вы с ней идете в салон виртуальной реальности и развлекаетесь там, как дети, проживая целую жизнь,

ОДИН ДЕНЬ В 2100 Г.

глупую и невероятную. Вы входите в пустой зал. Запускается компьютерная программа, и зал меняется, оживает, в ваших контактных линзах возникает совершенно другой мир. В одной программе вы убегаете от динозавров, но куда бы вы ни направлялись, из кустов там непременно выскакивает очередной динозавр. В другой программе вы сражаетесь с инопланетными пришельцами или с пиратами, берущими на бордаж ваше судно. В третьей вы решаете измениться сами и превращаетесь в двух орлов, парящих в воздухе. Еще в одной программе вы загораете на пляже романтического южного острова или танцуете в лунном свете под плывущую в воздухе мягкую музыку.

Через некоторое время вам с Карен надоедает жить в виртуальном мире воображаемой жизнью, и вы решаете попробовать жизнь настоящую. Вы одновременно берете отпуск и решаете предпринять тур по Европе.

Вы обращаетесь к стене:

— Молли, Карен и я хотим спланировать отпуск в Европе. Настоящий. Подбери, пожалуйста, авиарейсы, гостиницы и все остальное. Затем дай список достопримечательностей, которые нам интересно было бы посмотреть. Наши вкусы ты знаешь.

Через несколько минут программа отпуска готова.

Позже, проходя по руинам римского Форума, вы видите в контактных линзах сцены из жизни Римской империи времен расцвета. Проходя мимо рухнувших колонн, камней и мелких обломков, вы видите, как все это выглядело «при жизни».

Делать покупки тоже очень интересно и приятно, несмотря на то что торговаться в местных лавочках приходится по-итальянски. Слушая собеседника, вы ясно видите в линзах субтитры с переводом. И никаких больше путеводителей, разговорников и неудобных карт. Все в линзах.

Вечером, глядя в римское небо, вы ясно видите в линзах контуры созвездий. А посмотрев немного в сторону, можно увидеть увеличенное изображение колец Сатурна, летящие кометы, чудесные газовые облака и взрывающиеся звезды.

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Однажды Карен раскрывает вам тайну, называет свой возраст. Шестьдесят один год. Почему-то теперь это кажется совсем не важным.

— Скажи, Карен, ты рада, что мы теперь живем так долго?

— Да, да! — отвечает она, не задумываясь. — Знаешь, моя бабушка жила в те времена, когда женщины выходили замуж, заводили детей и одновременно пытались чего-то добиться в своей профессии. Но мне нравится сознавать, что я трижды перевоплощалась, искала себя в трех профессиях и никогда не оглядывалась назад. Сначала я была гидом и возила группы туристов по нескольким странам, путешествовала по миру. Чудесная была жизнь! Туризм — громадная индустрия, там полно работы. Но позже мне захотелось делать что-нибудь более конкретное и полезное. Я стала юристом, адвокатом, защищала людей, которые были мне небезразличны. А затем я решила пойти на поводу у своих художественных склонностей и основала свою компанию веб-дизайна. И знаешь что? Я горжусь тем, что никогда не занималась работой, которую может выполнять робот. Ни один робот не способен быть личным гидом, выиграть в суде дело или создать произведение искусства.

Время покажет, думаете вы.

— А четвертую профессию ты не планируешь? — спрашиваете вы.

— Что ж, может быть, если подвернется что-нибудь подходящее, — улыбается Карен.

— Карен, — вы наконец переходите к главному, — если мы не стареем, то как узнать, когда наступит пора... ну, скажем, завести семью и детей? Биологические часы выключились несколько десятков лет назад. Так что я подумал, может быть, действительно пора остепениться и завести семью?

— Ты имеешь в виду детей? — немного удивленно спрашивает Карен. — Знаешь, я никогда об этом всерьез не думала. Ну, по крайней мере, до сих пор. Все зависит от того, подвернется ли подходящий мужчина, — говорит она, лукаво улыбаясь.

ОДИН ДЕНЬ В 2100 Г.

Позже вы обсуждаете свадьбу и имя, которое дадите своему первенцу, а также гены, которые вы хотели бы ему передать.

Вы подходите к настенному экрану и произносите:

— Молли, можешь дать мне каталог новейших генов, которые получили одобрение правительства?

Просматривая список, вы видите там различные гены для цвета волос, глаз, роста, сложения и даже некоторых черт характера. С каждым годом список заметно увеличивается. Вы видите также длинный список наследственных болезней, от которых можно избавиться. У вас в роду на протяжении нескольких веков были случаи фиброзно-кистозной дегенерации, и очень приятно, что можно больше об этом не беспокоиться.

Просматривая список одобренных генов, вы чувствуете себя не просто будущим отцом, а почти богом, творящим ребенка по своему образу и подобию.

Затем Молли говорит:

— Есть программа, которая может проанализировать ДНК будущего ребенка и дать примерный портрет: какое у него будет лицо, сложение и характер. Хотите скачать эту программу и посмотреть, каким может стать ваш ребенок в будущем?

— Нет, — отвечаете вы. — Некоторые вещи должны оставаться загадкой.

Годом позже

Карен беременна, но ее врачи уверяют, что поездка на космическом лифте, который недавно открыли для туристов, ничем ей не повредит.

— Знаешь, — признаетесь вы Карен, — в детстве я всегда хотел отправиться в космос. Стать астронавтом. Но однажды я представил себе, каково это — сидеть поверх нескольких тысяч тонн ракетного топлива, которое может взорваться от любой искры. После этого мой энтузиазм к космическим путешествиям несколько подостыл. Но космический лифт —

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

это совсем другое. Чисто, безопасно, никакой суеты. Вот как надо ездить в космос!

Входя вместе с Карен в лифт, вы видите оператора, который очень буднично нажимает что-то вроде кнопки «вверх». Совсем как в супермаркете, и вы невольно ждете, что перед окном лифта появится отдел женского белья. Вместо этого лифт разгоняется и взмывает вверх. Кабинка стремительно поднимается все выше и выше, вы чувствуете небольшое дополнительное ускорение. На указателе сменяются цифры: 10 км, 20 км, 30 км...

Вы видите, как вид снаружи меняется от секунды к секунде. Вот вы смотрите сверху на бесконечный ковер пухлых облаков; это еще атмосфера. Вот небо из голубого становится серым, а затем и черным; наконец вокруг появляются звезды во всем их великолепии. Вы пытаетесь различить знакомые созвездия, но выглядят они непривычно, в таком ракурсе вы их никогда прежде не видели. Звезды не мерцают, как ночью на Земле; именно так, как сейчас, они светят уже миллиарды лет.

Лифт медленно останавливается примерно в 160 км от поверхности Земли. Под ногами — великолепный вид, который прежде вам приходилось видеть только на картинках.

Вы смотрите вниз и внезапно видите Землю в совершенно новом свете. Вы видите океаны, материки и огни мегаполисов, ясно видимые даже из космоса.

Отсюда, сверху, Земля кажется такой спокойной, такой умиротворенной... С трудом верится, что люди когда-то проливали кровь и вели войны из-за глупых границ. Нации, да и государства, все еще существуют, но сегодня они кажутся такими мирными и... незначительным, что ли, ведь связь на планете действует мгновенно и повсеместно.

Карен кладет голову на ваше плечо, и вы вдруг понимаете, что присутствуете при рождении новой планетарной цивилизации. А ваш ребенок будет одним из первых ее граждан.

Затем вы вынимаете из заднего кармана старую потрепанную книжку и читаете Карен слова, написанные человеком, ко-

ОДИН ДЕНЬ В 2100 Г.

торый умер больше ста лет назад. Они напоминают вам о том, что человечеству придется преодолеть еще немало препятствий, прежде чем наступит золотой век планетарной цивилизации.

Махатма Ганди когда-то написал:

*Корни насилия:
богатство без работы,
удовольствия без совести,
знание без характера,
бизнес без морали,
наука без человечности,
молитва без жертвы,
политика без принципов.*

БЛАГОДАРНОСТИ

Я хотел бы поблагодарить всех тех, кто неустанно работал ради успеха этой книги, в первую очередь своих редакторов Роджера Шолла (Roger Scholl), руководившего изданием большинства моих предыдущих работ и подсказавшего мне идею этой непростой книги, и Эдварда Кастенмейера (Edward Kastenmeier), терпеливо предлагавшего мне бесчисленные поправки и изменения, благодаря которым книга стала намного лучше. Я также хочу поблагодарить Стюарта Кричевски (Stuart Krichevsky), моего давнего литературного агента, который никогда не устает подталкивать меня к новым, все более интересным проектам.

И конечно, я хотел бы поблагодарить три с лишним сотни ученых, у которых в разное время брал интервью и с которыми обсуждал вопросы науки. Я хотел бы извиниться за то, что нарушал рабочий порядок лабораторий, приводя туда съемочные группы BBC-TV, каналов Discovery и Science, за то, что совал в лицо микрофон и телекамеру. Возможно, это нарушало их планы и даже мешало исследованиям, но, надеюсь, конечный результат того стоил.

Вот некоторые из этих людей:

Эрик Чивриан (Eric Chivian), нобелевский лауреат (как один из руководителей организации «Врачи мира за предотвращение ядерной войны»), Центр здоровья и мировой экологии, Гарвардская медицинская школа;

БЛАГОДАРНОСТИ

Питер Догерти (Peter Doherty), нобелевский лауреат, Детская исследовательская больница Св. Иуды;

Джеральд Эделман (Gerald Edelman), нобелевский лауреат, Исследовательский институт Скриппса;

Мюррей Гелл-Манн (Murray Gell-Mann), нобелевский лауреат, Институт Санта-Фе и Калифорнийский технологический институт (Калтех);

Уолтер Гилберт (Walter Gilbert), нобелевский лауреат, Гарвардский университет;

Дэвид Гросс (David Gross), нобелевский лауреат, Кавлийский институт теоретической физики;

Генри Кендалл (Henry Kendall), ныне покойный, нобелевский лауреат, Массачусетский технологический институт (MIT);

Леон Ледерман (Leon Lederman), нобелевский лауреат, Иллинойский технологический институт;

Ёитиро Намбу (Yoichiro Nambu), нобелевский лауреат, Чикагский университет;

Генри Поллак (Henry Pollack), нобелевский лауреат, Университет Мичигана;

Джозеф Ротблат, нобелевский лауреат, Больница Св. Варфоломея;

Стивен Вайнберг (Steven Weinberg), нобелевский лауреат, Университет Техаса в Остине;

Фрэнк Вилчек (Frank Wilczek), нобелевский лауреат, MIT;

Амир Ацель (Amir Aczel), автор книги «Урановые войны»;

Базз Олдрин (Buzz Aldrin), бывший астронавт NASA, второй человек на Луне;

Джефф Андерсен (Geoff Andersen), исследователь, Академия ВВС США, автор книги «Телескоп»;

Джей Барбри (Jay Barbree), корреспондент NBC, соавтор книги «Цель — Луна»;

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Джон Барроу (John Barrow), физик, Кембриджский университет, автор книги «Невозможность»;

Марсия Бартусьяк (Marcia Bartusiak), автор книги «Неоконченная симфония Эйнштейна»;

Джим Белл (Jim Bell), профессор астрономии, Корнеллский университет;

Джеффри Беннет (Jeffrey Bennet), автор книги «НЛО: что дальше?»;

Боб Берман (Bob Berman), астроном, автор книги «Тайны ночного неба»;

Лесли Бизекер (Leslie Biesecker), руководитель отделения по исследованию генетических заболеваний Национального института здоровья;

Пирс Бизони (Piers Bizony), научный журналист, автор книги «Как построить звездолет»;

Майкл Блейз (Michael Blaese), бывший научный сотрудник Национального института здоровья;

Алекс Бойзе (Alex Boese), основатель Музея розыгрышей;

Ник Бостром (Nick Bostrom), трансгуманист, Оксфордский университет;

Роберт Боуман (Robert Bowman), подполковник, Институт исследований космоса и безопасности;

Лоуренс Броуди (Lawrence Brody), руководитель отделения геномных технологий Национального института здоровья;

Родни Брукс (Rodney Brooks), бывший директор Лаборатории искусственного интеллекта MIT;

Лестер Браун (Lester Brown), основатель Института земной политики;

Майкл Браун (Michael Brown), профессор астрономии, Калтех;

Джеймс Кэнтон (James Canton), основатель Института вариантов глобального будущего, автор книги «Предельное будущее»;

БЛАГОДАРНОСТИ

Артур Каплан (Arthur Caplan), директор Центра биоэтики Университета Пенсильвании;

Фритъоф Капра (Fritjof Capra), автор книги «Наука Леонардо»;

Шон Кэрролл (Sean Carroll), космолог, Калтех;

Эндрю Чайкин (Andrew Chaikin), автор книги «Человек на Луне»;

Лерой Чао (Leroy Chiao), бывший астронавт NASA;

Джордж Чёрч (George Church), директор Центра вычислительной генетики Гарвардской медицинской школы;

Томас Кохран (Thomas Cochran), физик, Совет по защите природных ресурсов;

Кристофер Кокинос (Christopher Cokinos), научный журналист, автор книги «Упавшее небо»;

Фрэнсис Коллинз (Francis Collins), директор Национального института здоровья;

Вики Колвин (Vicki Colvin), директор по нанотехнологиям в области биологии и окружающей среды, Университет Райса;

Нил Коминз (Neil Comins), автор книги «Опасности космических путешествий»;

Стив Кук (Steve Cook), директор Dynetics по космическим технологиям, бывший представитель NASA;

Кристин Косгроув (Christine Cosgrove), автор книги «Нормальность любой ценой»;

Стив Казинс (Steve Cousins), президент и исполнительный директор Willow Garage;

Брайан Кокс (Brian Cox), физик, Университет Манчестера, научный ведущий BBC;

Филлип Койл (Phillip Coyle), бывший помощник министра обороны США;

Дэниел Кревьер (Daniel Crevier), автор книги «ИИ: бурная история поисков искусственного интеллекта», исполнительный директор Cogeco;

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Кен Кросвелл (Ken Croswell), астроном, автор книги «Величественная вселенная»;

Стивен Куммер (Steven Cummer), специалист по компьютерным наукам, Университет Дьюка;

Марк Кутковски (Mark Cutkosky), специалист по инженерной механике, Стэнфордский университет;

Пол Дэвис (Paul Davies), физик, автор книги «Суперсила»;

Обри де Грей (Aubrey de Gray), главный научный сотрудник фонда SENS;

Майкл Дертузос (Michael Dertouzos), ныне покойный, бывший директор Лаборатории компьютерных исследований MIT;

Джаред Даймонд (Jared Diamond), лауреат Пулитцеровской премии, профессор географии, Университет Калифорнии в Лос-Анджелесе;

Марьетта ДиКристина (Mariette DiChristina), главный редактор журнала *Scientific American*;

Питер Дилворт (Peter Dilworth), бывший сотрудник Лаборатории искусственного интеллекта MIT;

Джон Донохью (John Donoghue), создатель системы BrainGate, Университет Брауна;

Энн Друян (Ann Druyan), вдова Карла Сагана, Cosmos Studios;

Фримен Дайсон (Freeman Dyson), почетный профессор физики, Принстонский институт перспективных исследований;

Джонатан Эллис (Jonathan Ellis), физик, ЦЕРН;

Дэниел Фэрбэнкс (Daniel Fairbanks), автор книги «Реликты Эдема»;

Тимоти Феррис (Timothy Ferris), почетный профессор Университета Калифорнии в Беркли, автор книги «Зрелость во Млечном Пути»;

Мария Финицо (Maria Finitzo), автор научно-популярных фильмов, лауреат премии Пибоди за фильм «Как исследовать стволовые клетки»;

БЛАГОДАРНОСТИ

Роберт Финкельштейн (Robert Finkelstein), специалист в области искусственного интеллекта;

Кристофер Флавин (Christopher Flavin), Институт Всемирной вахты;

Луис Фридман (Louis Friedman), один из основателей Планетарного общества;

Джеймс Гарвин (James Garvin), бывший старший научный сотрудник Центра Годдарда NASA;

Эвалин Гейтс (Evalyn Gates), автор книги «Телескоп Эйнштейна»;

Томас Грэм (Thomas Graham), дипломат, специалист по спутникам-шпионам;

Джек Гейгер (Jack Geiger), один из основателей общества «Врачи за социальную ответственность»;

Дэвид Гелернтер (David Gelernter), профессор компьютерных наук, Йельский университет;

Нил Гершенфельд (Neil Gershenfeld), директор Центра битов и атомов MIT;

Пол Гилстер (Paul Gilster), автор книги «Центаврианские мечты»;

Ребекка Голдбург (Rebecca Goldberg), бывший старший научный сотрудник Благотворительного фонда Пью по защите окружающей среды, директор по морским исследованиям;

Дон Голдсмит (Don Goldsmith), астроном, автор книги «Сбежавшая вселенная»;

Сет Голдстейн (Seth Goldstein), профессор компьютерных наук Университета Карнеги–Меллон;

Дэвид Гудстейн (David Goodstein), бывший помощник ректора Калтеха, профессор физики;

Ричард Готт III (J. Richard Gott III), профессор астрофизики Принстонского университета, автор книги «Путешествия во времени в эйнштейновской вселенной»;

Джон Грант (John Grant), автор книги «Коррупцированная наука»;

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Стивен Джей Гулд (Stephen Jay Gould), ныне покойный, биолог Harvard Lightbridge Corp.;

Эрик Грин (Eric Green), директор Национального института исследования генома человека, Национальный институт здоровья;

Рональд Грин (Ronald Green), автор книги «Дети по спецпроекту»;

Брайан Грин (Brian Greene), профессор математики и физики, Колумбийский университет, автор книги «Элегантная вселенная»;

Алан Гут (Alan Guth), профессор физики MIT, автор книги «Инфляционная вселенная»;

Уильям Хансон (William Hanson), автор книги «Передний край медицины»;

Леонард Хейфлик (Leonard Hayflick), профессор анатомии Медицинской школы Университета Калифорнии в Сан-Франциско;

Дональд Хиллебранд (Donald Hillebrand), директор Центра транспортных исследований Аргоннской национальной лаборатории;

Фрэнк фон Хиппл (Frank von Hippel), физик, Принстонский университет;

Джеффри Хоффман (Jeffrey Hoffman), бывший астронавт NASA, профессор аэронавтики и астронавтики MIT;

Дуглас Хофштадтер (Douglas Hofstadter), лауреат Пулитцеровской премии, автор книги «Гёдель, Эшер, Бах»;

Джон Хорган (John Horgan), Технологический институт Стивенса, автор книги «Конец науки»;

Джейми Хайнеман (Jamie Hyneman), ведущий передачи «Разрушители легенд»;

Крис Импи (Chris Imrey), профессор астрономии Университета Аризоны, автор книги «Живой космос»;

Роберт Айри (Robert Irie), бывший научный сотрудник лаборатории искусственного интеллекта MIT, Массачусетская больница общей практики;

БЛАГОДАРНОСТИ

П. Якобович (P. J. Jacobowitz), *PC magazine*;

Джей Ярослав (Jay Jaroslav), бывший научный сотрудник лаборатории искусственного интеллекта MIT;

Дональд Йохансон (Donald Johanson), палеоантрополог, нашедший Люси;

Джордж Джонсон (George Johnson), научный журналист *New York Times*;

Том Джоунз (Tom Jones), бывший астронавт NASA;

Стив Кейтс (Steve Kates), астроном и радиоведущий;

Джек Кесслер (Jack Kessler), профессор неврологии, директор Неврологического института Фейнберга Северо-Западного университета;

Роберт Киршнер (Robert Kirshner), астроном, Гарвардский университет;

Крис Кёниг (Kris Koenig), автор научно-популярных фильмов и астроном;

Лоуренс Краусс (Lawrence Krauss), Университет штата Аризона, автор книги «Физика в Star Trek»;

Роберт Лоуренс Кун (Robert Lawrence Kuhn), философ, автор научно-популярных фильмов PBS TV, передачи «Ближе к истине»;

Рей Курцвейл (Ray Kurzweil), изобретатель, автор книги «Эра одушевленных машин»;

Роберт Ланца (Robert Lanza), специалист по биотехнологиям и продвинутым клеточным технологиям;

Роджер Лауниус (Roger Launius), соавтор книги «Роботы в космосе»;

Стэн Ли (Stan Lee), автор комиксов «Марвел» и «Спайдермен»;

Майкл Лемоник (Michael Lemonick), бывший старший редактор по науке журнала *Time*;

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Артур Лернер-Лэм (Arthur Lerner-Lam), геолог, вулканолог, Колумбийский университет;

Саймон ЛеВей (Simon LeVay), автор книги «Когда наука заблуждается»;

Джон Льюис (John Lewis), астроном, Университет Аризоны;

Алан Лайтман (Alan Lightman), MIT, автор книги «Мечты Эйнштейна»;

Джордж Лайнехан (George Linehan), автор книги «SpaceShipOne»;

Сет Ллойд (Seth Lloyd), MIT, автор книги «Программируя вселенную»;

Джозеф Ликкен (Joseph Lykken), физик, Национальная ускорительная лаборатория имени Ферми;

Роберт Манн (Robert Mann), автор книги «Лабораторный детектив»;

Майкл Пол Мейсон (Michael Paul Mason), автор книги «Главные дела»;

Патрик Маккрей (W. Patrick McCray), автор книги «Не забывайте наблюдать за небом!»;

Гленн Макги (Glenn McGee), автор книги «Идеальный ребенок»;

Джеймс Маклуркин (James McLurkin), бывший научный сотрудник лаборатории искусственного интеллекта MIT, Университет Райса ;

Пол Макмиллан (Paul McMillan), директор Космической вахты, Университет Аризоны;

Пэтти Маес (Pattie Maes), медиалаборатория MIT;

Фулвио Мелиа (Fulvio Melia), профессор физики и астрономии, Университет Аризоны;

Уильям Меллер (William Meller), автор книги «Эволюция Rx»;

Пол Мельцер (Paul Meltzer), Национальный институт здоровья;

Марвин Мински (Marvin Minsky), MIT, автор книги «Общество разума»;

БЛАГОДАРНОСТИ

Ганс Моравек (Hans Moravec), профессор Университета Карнеги–Меллон, автор книги «Робот»;

Филлип Моррисон (Phillip Morrison), ныне покойный, физик, MIT;

Ричард Мюллер (Richard Muller), астрофизик, Университет Калифорнии в Беркли;

Дэвид Нахаму (David Nahamoo), бывший сотрудник IBM, отдел технологий человеческого языка;

Кристина Нил (Christina Neal), вулканолог, Вулканная обсерватория на Аляске, Геологическая служба США;

Майкл Новачек (Michael Novacek), куратор отдела ископаемых млекопитающих, Американский музей естественной истории;

Майкл Оппенгеймер (Michael Oppenheimer), эколог, Принстонский университет;

Дин Орниш (Dean Ornish), профессор клинической медицины, Университет Калифорнии в Сан-Франциско;

Питер Палезе (Peter Palese), профессор микробиологии, Медицинская школа «Гора Синай»;

Чарльз Пеллерин, бывший служащий NASA;

Сидни Перковиц (Sidney Perkowitz), профессор физики в Университете Эмори, автор книги «Голливудская наука»;

Джон Пайк (John Pike), директор GlobalSecurity.org;

Джена Пинкотт (Jena Pincott), автор книги «Правда ли джентльмены предпочитают блондинок?»;

Томазо Поджо (Tomaso Poggio), специалист по искусственному интеллекту, MIT;

Корри Пауэлл (Correy Powell), главный редактор журнала *Discover*;

Джон Пауэлл (John Powell), основатель JP Aerospace;

Ричард Престон (Richard Preston), автор книг «Горячая зона» и «Демон в холодильнике»;

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Раман Принджа (Raman Prinja), профессор астрофизики, Университи-колледж, Лондон;

Дэвид Каммен (David Quammen), научный журналист, автор книги «Нерешительный мистер Дарвин»;

Катерина Рамсленд (Katherine Ramsland), патологоанатом;

Лайза Рэндолл (Lisa Randall), профессор теоретической физики Гарвардского университета, автор книги «Извилистые ходы»;

сэр Мартин Рис (Sir Martin Rees), профессор астрофизики, Кембриджский университет, автор книги «До начала»;

Джейн Рисслер (Jane Rissler), Союз обеспокоенных ученых;

Стивен Розенберг (Steven Rosenberg), Национальный институт рака при Национальном институте здоровья;

Джереми Рифкин (Jeremy Rifkin), основатель Фонда экономических тенденций;

Дэвид Рикье (David Riquier), директор по корпоративному пиару, медиалаборатория MIT;

Пол Саффо (Paul Saffo), футурист, Институт будущего, консультирующий профессор Стэнфордского университета;

Карл Саган (Carl Sagan), ныне покойный, Корнеллский университет, автор книги «Космос»;

Ник Саган (Nick Sagan), соавтор книги «И это вы называете будущим?»;

Майкл Саламон (Michael Salamon), программа NASA «После Эйнштейна»;

Адам Сэвидж (Adam Savage), ведущий передачи «Разрушители легенд»;

Питер Шварц (Peter Schwartz), футурист, один из основателей Global Business Network, автор книги «Взгляд вдаль»;

Майкл Шермер (Michael Shermer), основатель Общества скептиков и журнала *Skeptic*;

БЛАГОДАРНОСТИ

Донна Ширли (Donna Shirley), бывший менеджер программы освоения Марса NASA;

Сет Шостак (Seth Shostak), Институт SETI;

Нил Шубин (Neil Shubin), профессор биологии и анатомии организмов, Университет Чикаго, автор книги «Внутренняя рыба»;

Пол Шух (Paul Shuch), почетный исполнительный директор Лиги SETI;

Питер Сингер (Peter Singer), автор книги «Готов к войне», Институт Брукинга;

Саймон Сингх (Simon Singh), автор книги «Большой взрыв»;

Гэри Смолл (Gary Small), соавтор книги «iBrain»;

Пол Спудис (Paul Spudis), Программа планетарной геологии NASA;

Стивен Сквайрз (Steven Squyres), профессор астрономии Корнеллского университета;

Пол Стейнхардт (Paul Steinhardt), профессор физики Принстонского университета, соавтор книги «Бесконечная вселенная»;

Грегори Сток (Gregory Stock), Университет Калифорнии в Лос-Анджелесе, автор книги «Переделывая человека»;

Ричард Стоун (Richard Stone), автор статьи «Последнее большое столкновение с Землей», журнал *Discover*;

Брайан Салливан (Brian Sullivan), бывший сотрудник Хейденского планетария;

Леонард Зусскинд (Leonard Susskind), профессор физики Стэнфордского университета;

Дэниел Тэммет (Daniel Tammet), гений-аутист, автор книги «Рожденный голубым днем»;

Джефффри Тейлор (Geoffrey Taylor), физик, Университет Мельбурна;

Тед Тейлор (Ted Taylor), ныне покойный, разработчик американских ядерных боеголовок;

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Макс Тегмарк (Max Tegmark), физик, MIT;

Элвин Тоффлер (Alvin Toffler), автор книги «Третья волна»;

Патрик Такер (Patrick Tucker), Общество будущего мира;

Стэнсфилд Тёрнер (Stansfield M. Turner), адмирал, бывший Директор центральной разведки;

Крис Тёрни (Chris Turney), Университет Эксетера, Великобритания, автор книги «Лед, грязь и кровь»;

Нил деГрассе Тайсон (Neil deGrasse Tyson), директор Хейденского планетария;

Сеш Веламур (Sesh Velamoor), Фонд будущего;

Роберт Уоллес (Robert Wallace), соавтор книги «Корабль-шпион», бывший директор Управления технических служб ЦРУ;

Кевин Уорвик (Kevin Warwick), люди-киборги, Университет Ридинга, Великобритания;

Фред Вотсон (Fred Watson), астроном, автор книги «Звездочет»;

Марк Визер (Mark Weiser), ныне покойный, Херох PARC;

Алан Вейсман (Alan Weisman), автор книги «Мир без нас»;

Дэниел Вертимер (Daniel Werthimer), программа SETI at Home, Университет Калифорнии в Беркли;

Майк Весслер (Mike Wessler), бывший научный сотрудник лаборатории искусственного интеллекта MIT;

Артур Уиггинс (Arthur Wiggins), автор книги «Радость физики»;

Энтони Уиншоу-Борис (Anthony Wynshaw-Boris), Национальный институт здоровья;

Карл Циммер (Carl Zimmer), научный журналист, автор книг «Эволюция» и «Паразиты»;

Роберт Циммерман (Robert Zimmerman), автор книги «Покидая Землю»;

Роберт Зубрин (Robert Zubrin), основатель Марсианского общества.

ПРЕДМЕТНО-ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

«1984» (Дж. Оруэлл) 482

А

Абак, атомная версия 278

Абрахамс, Пол 109

«Аватар» (фильм) 399

Аватары 55, 98, 172

Автомобили

на магнитной подушке 325, 541, 543

роботизированные 48

-электро 336

на топливных элементах 336, 337

роботизированные 48

Аденозинтрифосфат (АТФ) 284

Азимов, Айзек 161, 162, 404, 535

Аллен, Пол 423, 524

Антителесство 441, 443–445

Апофис (астероид) 408, 409

Армстронг Нил 404

Арцутанов, Юрий 430

Атала, Энтони 196

Б

Бадилак, Стивен 202

Бадилак, Стивен 201

Бакли, Уильям 36

Безбумажный офис 23, 26, 257

Бенфорд, Грегори 219

Бинниг, Герд 276

Биоинформатика 193, 194

Биологическая война 259, 262

Бирбаумер, Нильс 85

Бисмарк Отто фон 517

Блюмих, Бернхард 94

Бова, Бен 325, 389

Болдуин, Дэвид 368

Большой взрыв, исследование 23, 395,
401–404, 573

Брак и семейная жизнь в 2100 г. 152

Браун, Дэн 443

Браун, Лестер 239, 564

Бреннер Сидни 243

Бризель, Синтия 133

Брукс, Родни 163, 564

Брэнсон, Ричард 423

Будущее 10, 11, 14, 20, 24, 27, 29–31,
38–62, 70–78, 88–99, 103, 121,
122, 127, 128, 131, 134, 148, 163,
171–173, 177, 191–198, 204, 205,
213, 217, 225, 226, 232, 235, 242,
243, 253–261, 279, 280, 283, 287,
290, 300, 307, 309, 317, 327–330,
343, 397, 398, 404, 408, 412, 424,
441, 444, 447, 454, 465, 470–486,
493, 499, 510–519, 528, 536, 552,
553, 555, 559

планирование 149, 153

Буссард, Роберт 439, 440

Буш, Джордж 406, 407

В

Ванамейкер, Джон 17

Венгер, Крейг 360

Вестфал, Кристоф 231

Видеотелефоны 24

Визер, Марк 35, 36, 574

Виктория, королева Англии 205

Вилмут, Ян 202, 203

Виндж, Вернон 148, 157

Виртуальная реальность 28, 55–57, 66,
147, 175, 556

Виртуальный ретинальный монитор
(VRD) 42

Вирусы 38, 206, 209, 211, 252–254,
260–269, 316, 518, 521, 543

ВИЧ/СПИД 254, 261

Внесолнечные планеты 523

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Война, изменение сути 422
Восприятие окружающего мира
138, 149, 150

Восстановление вымерших
форм жизни 242, 247
«Вспомнить все» (фильм) 88
Вымершие формы жизни,
оживление 242, 400

Г

Галилей, Галилео 402
Галлея комета 420
Ганди, Махатма 561
Гардини, Паоло 292
Гарро, Джоэл 316
Гаспарино, Чарльз 472
Гейдж, Финеас 136
Гейм, Андрей 296
Генная инженерия 138, 209, 242,
251–259, 361, 536, 541
«Геном рака», проект 210
«Геном человека», проект 144, 146, 190,
205, 210

Георг III, король Англии 205

Герцберг, Абрахам 428

Гибсон, Уильям 15

Гилберт, Дэниел 217

Гилберт, Уолтер 563

Гитара атомная 278

Глейзер, Питер 387

Глобальное потепление 348, 355, 357,
362, 383, 420, 515, 536

метан и 356

последствия 328, 356

углекислый газ и 350–354, 357,
359–361, 383, 417–421, 546

Гоббс, Томас 532

Годдард, Роберт 17, 426

Голдстейн, Сет 306, 567

Голограммы 80

Горвиц, Горвиц 104

Гордон, Джон Стил 465

Грант, Джеймс 487

Графен 296, 297

Гриппа вирус 252, 260

Груды рак 224

Гуаренте, Леонард 228, 230

Д

да Винчи, роботизированная система 127

Дайсона сфера 520

Дайсон. Фримен 361, 566

Дамасио, Антонио 130

Декогерентности проблема 300

Депрессия, лечение 217

Детекторы лжи 91, 92

Дети из пробирки 204, 254

Дети по спецпроекту 212, 568

Джерриш, Харольд 445

Джой, Билл 315

Джон Донохью 82, 566

Джонсон, Лес 436

Джонсон, Томас 225

Диамандис, Питер 427

Диктатуры 519

Динозавров оживление 242

Дин, Томас 107

ДНК-чипы 59, 195

Докинз, Ричард 243

Долгожительство 226

обмен веществ 223, 228, 232, 236, 258

ограничение калорийности 227

процесс старения 61, 226, 232

ресвератрол 228–231

сохранение молодости 237

теломеры клетки 234

энтропия 223, 528

Дополненная реальность 68, 70, 78

Дрекслер, Эрик 309

Дуэлл, Чарльз 17

Дэвис, Стивен 199

Ё

Ёсида, Хироиси 390

Ж

Жизнь в космосе, поиск 396, 397, 527

Жизнь дома в 2100 г. 24, 94, 539, 541

Жизнь на Марсе, искусственное

заселение 56, 258, 417, 418

З

«Звездные войны» (сага) 52, 96, 508

«Звездный путь» (сериал) 18, 58, 76

Здравый смысл 153, 154, 473, 474, 476,
484, 489, 533, 535

Зонды фон Неймана 521, 522

Зубрин, Роберт 441, 574

И

Идеальный капитализм 479

Импланты «улитки» 171

ПРЕДМЕТНО-ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Инголс, Джон 16
Инопланетные цивилизации 76, 523
Институт перспективных концепций
NASA 449, 450
Интеллектуальный капитализм
486, 489
 вещный капитализм, переход
 483, 485, 513
 рынок труда и 495, 536
 цифровое расслоение и 485
Интернет 25, 36, 39–46, 48, 53, 55, 120,
170, 230, 260, 261, 305, 475, 476,
479, 481, 482, 486, 509, 510, 535,
543, 544, 550–552, 554
 исламские террористы 519
 невидимость 68
«Искатель землеподобных планет»,
 космический аппарат 397
Ископаемое топливо 325–338, 348, 350,
362, 376, 390, 526, 546
Искусственное зрение 167
- ### К
- Кант, Иммануил 534
Канэкиё, Кенсуке 390
Капор, Митч 159
Кардашёв, Николай 506, 508, 525
Каспаров, Гарри 110
Кассио Жамэ 320
Кастомизация товаров 480
Катомы 303–307
Квантовая теория 19, 189, 190, 270, 274,
275, 293, 299, 366, 547
Квантовые компьютеры 297–299
Квейк, Стивен 191, 192
Кей, Кендрик 87
Келлер, Хелен 35
Келли, Шейна 288
Кибертуризм 26
Кларк, Артур 430
Клаузевиц, Карл фон 516
Клейн, Ричард 245, 246
Клонирование 60, 188–204, 251, 254
Книгопечатание 463
Коллинз, Фрэнсис 205, 565
Кометы 21, 419, 420, 520, 557
Компьютеры
 одноразовые 54
 анимация 476, 477
 виртуальная реальность 28, 55–57, 66,
 147, 175, 556
 интернет-очки и интернет-линзы 42,
 45, 47, 56, 71, 479
квантовые 297–299, 547
на квантовой точке 300
кремниевые чипы 295
медицина и 235
молекулярные и атомные
 транзисторы и 295, 296, 297
нанотехнологии и 22, 31, 195, 268,
269, 277, 279, 283, 290, 302–320,
429, 432, 445, 451, 470, 522,
529, 537
настенные экраны 51, 52,
54, 541, 555, 559
оптические 300
роботизированные автомобили 48
самосборка и 297, 311, 312, 315
телекинез и 96
универсальные переводчики 18
экспоненциальный рост мощности
 (закон Мура) 36, 37, 40, 61, 62,
65, 110, 177, 180, 191, 269, 288,
292, 328, 465
Космическая солнечная энергия 387
Космические путешествия 258, 387, 404,
406, 407, 430, 520, 531, 542, 559,
565
 вода в космосе, поиск 397, 398, 416,
 419, 421
 высадка на астероид 407
 невесомости проблема 414
 стоимость 391, 405, 423–432, 453
 туризм 424, 425
Космический лифт 429–434, 542
Краусс, Майкл 509
Кремниевые чипы, ограничения 295
Крик, Фрэнсис 189
Крутцен, Пол 358
Кукес, Филип 268
Курцвейл, Рей 157–159, 569
Кэмерон, Джеймс 399
Кэмпбелл, Джейсон 303
Кэнтон, Джеймс 564
- ### Л
- Лагранжа точки 408
Лазерное обогащение урана 346
Лазерный термоядерный синтез 388
Ланца, Роберт 186, 188, 569
Лейбниц, Готфрид 149
ЛеКун, Янн 118
Лено, Джей 138
Леонардо да Винчи 14, 15, 18, 127
Ли Куан Ю 496, 497

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

- Лилиенталь, Дэвид 364
Ллойд, Сег 298, 299, 570
Луна, посадка/колонизация 13, 17,
37, 390, 405, 407, 408,
411, 412, 422, 428, 449
Лурия А.Р. 218
Луттвак, Эдвард 517
Лутц, Роберт 335
Лэпп, Ральф 364
«Люди в черном» (фильм) 274
- М**
- Магнитная подвеска, поезда и машины
381, 385, 386
Магнитная энергия 98
Магнитное поле для термоядерного
синтеза 10, 92–98, 283, 299,
314, 331, 367, 372, 384, 385, 450,
451, 542
Магнитно-резонансная томография
(МРТ) 85, 86, 384, 463
как технология чтения мыслей 91
Маес, Пэтти 74, 570
Майкл Кэмпбелл 370
МакГиннис, Дэйв 444
МакРей, Хэмиш 476, 490
Максвелл, Джеймс Кларк 19
Маллук, Томас 284
Мамонта оживление 247
Маркесс, Рон 203
Маркрам, Генри 141, 142
Марс, высадка/колонизация
421, 531, 542
Мартель, Сильвэн 285, 287
«Матрица» (фильмы) 147, 477
Мгновенное распознавание 116
Медицина/биотехнологии
биологическая война 259
генетические улучшения 219, 220, 258
генная терапия 60, 205–208, 211, 212,
220, 226, 236, 550
геномная медицина 190
дети по спецпроекту 212
дополненная реальность 75
клонирование 188, 202, 204
лечение мозговых травм 82, 199
методы лечения депрессии 217
методы лечения рака 211
методы лечения
травм спинного мозга 199
Принцип пещерного человека
25, 26, 28, 176, 321, 477
создание новых форм жизни 249
стволовые клетки 188, 198–201,
226, 235, 566
тканевая инженерия (замена органов)
196, 201, 235
хирургия 127, 176
Метан 356, 419, 428
Мизенбёк, Геро 138
Микроскоп атомно-силовой 276
Микроэлектромеханические системы
(МЭМС) 277–279
Миллер, Вебб 247
Мински, Марвин 103, 148, 165, 570
Мирабо, Лейк 426
Мишель, Уолтер 153
Модульные роботы 123, 126
Модха, Дхармендра 142
Моды индустрия 513, 554
Мозг
базовая структура 138, 146
выращивание 198
искусственные органы, адаптация 170
контактные интернет-линзы и 46
моделирование 111, 139, 142, 144
параллельная обработка информации
294
реверсивное проектирование 144, 180
эмоции и 131
как нейронная сеть 112
Мозес, Эдвард 370
Моравек, Ганс 115, 155, 174, 571
Мор, сэр Томас 317
Морфут, Линда 168
Мохамад, Махатхир 459
Мудрость 12, 537
Музыкальная индустрия 475
Мура закон 36, 37, 40, 61–67,
110, 177, 180, 191, 269, 288, 292,
294, 328, 465
Мур, Гордон 292
- Н**
- «Набросок к исторической картине о
прогнесе человеческого разума»
(Кондорсе) 533
Наджмабади, Фаррох 368, 375
«Назад в будущее» (фильмы) 377, 385
Наноботы 195, 287, 308–316, 448, 542
Нанозвездолеты 451, 452
Наномашины 279, 284, 312
Наностержни 285
Нанотехнологии 31, 269, 283, 290, 302,

ПРЕДМЕТНО-ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- 308, 309, 315, 316, 320, 429, 445,
451, 470, 530, 565
квантовая теория и 19, 190, 300
манипулирование отдельными атомами
263, 268
углеродные нанотрубки 290–292, 296,
431, 433
Наночастицы 194, 211, 277, 280–284,
312, 448, 549
Настенные экраны 51–54, 58, 120, 195,
541, 551
Неандертальца оживление 245, 246
Нейман, Джон фон 179
Нейронные сети 112
Нефть 69, 325–334, 341,
350, 363, 433, 507
Николелис, Мигель 84
Никсон, Ричард 208
Некке, Николас 71
Новоселов, Константин 296
Новый дизайн квартиры в 2100 г.
69, 554
Ньютон, Исаак 19, 180, 251,
274, 372, 405, 459, 461
- О**
Обама, Барак 342, 389,
407, 412, 416, 425
Облачные вычисления 481
«Облик грядущего» (фильм) 251
Образование 45, 241, 319, 459,
487, 488, 495, 514, 536
Обратное рассеяние рентгеновских лучей
75
Огастина комиссия, доклад
408, 410, 411
Озонового слоя истощение 515
Олдрин, Базз 404, 416, 563
Омаэ, Кенити 511
О'Нейл, Джерард 423
Оптические компьютеры 300
Оптогенетика 137
Органов замена 188, 197, 200
«Орион», проект 347, 438, 439
Османская империя 457, 459, 460
Относительности теория 19, 440
Отпуск в 2100 г. 51, 52, 557
- П**
Параллельная обработка данных 294
Парвиз, Бабак 44–46
«Парк Юрского периода» (фильм) 242
Паровой двигатель 13, 164, 165,
329, 462, 466, 467, 505
Паскуали, Маттео 431
Пастер, Луи 267
Пек, Мейсон 449–453
Пенфилд, Уайлдер 137
Перон, Хуан 364
Пик, Ким 178
Пол Кеннеди 459
Понс Стэнли 365, 366, 379
Посадка на спутник Марса 410
Пост Стивен 541
Пострел, Вирджиния 468
«Привидение» (фильм) 272
Принцип пещерного человека 25
Программируемое вещество 302,
552–554
Продовольствия производство 238, 328
Протезы 169, 170
Протезы 167
Прямоточный термоядерный двигатель
435, 439–442
Пурнель, Джерри 328
Пяябо, Сванте 245
- Р**
Развивающиеся страны 491, 492, 496
Развлечений индустрия 29, 475
Развлечения как потребность 23, 24, 29,
68, 70, 475, 497, 506, 509
Разумная пыль 447
Рак 59, 199, 207–211, 224, 229, 236, 287–
290, 549
Рак груди 224
Ракеты из газовой пушки 428
Распознавание образов 44, 114, 117, 157,
470, 471, 484
Распутин, Григорий 205
Раттнер, Джастин 304, 307
Рейган, Рональд 512
Реклама 302
Рентгеновская литография 293
Рентгеновское зрение 75, 168
Репликаторы 308–321
пластиковое трехмерное изображение
313
самосборка (подход «снизу вверх») 282,
297, 311, 312, 315, 316
социальные последствия 316, 317
сценарий с серой слизью 315
Ресвератрол 228–231
Рецессия 2006 г. 469, 510

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

- Рив, Кристофер 199
Рихтер, Рональд 364, 365, 379
Робототехника 106, 120, 123,
161–164, 174, 522
ASIMO 104, 106
дружественный ИИ 160–163, 177
здравый смысл и 114, 115, 470, 472, 484
распознавание образов 44, 114, 117,
157, 470, 471, 484
реверсивное проектирование
мозга 144
роботизированный автомобиль 47–51
самокопирующиеся роботы 449
слияние человека и робота 170–174
сознание 181
суррогаты и аватары 55, 98, 172, 174
эмоциональные роботы 129–134
Роботы и сознание 105, 121, 162
Рождаемости контроль 239
Рорер, Генрих 276
Рост водорослей, стимулирование 359
Роуз, Майкл 225
Рубин, Джерри 145
Рука роботизированная 168, 548
Рутан, Берт 423
Рынок труда 495, 536
- С**
- Саган, Карл 395, 507, 526, 572
Саймон, Герберт 108
Саймон, Джулиан 503
Салливан, Марк 16
Сверхпроводники 97, 98, 381–388, 530
телекинез и 96
Свидание в 2100 г. 550, 554
Северная Корея 345, 520
Сен, Айюсман 284
Серф, Винт 300
Сибирская язва 262
Силва, Алчино 218
Сингапур 495–498, 511
Сингулярность 156–159, 162, 177, 320
Синклер, Дэвид 228–231
Сиртуины 228–231
Сканирующий
туннельный микроскоп 276
Слингatron 429
«Смерч» (фильм) 447
Смит, Адам 479, 483
Смит, Джеральд 443
Смоли, Ричард 268, 309–311
Солнечная энергия 325, 326, 330,
332–334, 347, 353, 387, 390
Солнечный парус 435–438
Сонолюминесценция 377, 378
Социальная робототехника 162
Спорт и игры 310, 514
Средний класс планетарный 513
Стайное поведение 447
Стволовые клетки 188, 198–201,
235, 566
Стеффенс, Джон 471
Сток, Грегори 257, 573
Страттон, Майк 210
Стюарт, Поттер 474
Суррогаты 98, 172, 174
«Суррогаты» (фильм) 172
Суссман, Джеральд 185
США, экономическое будущее 495
- Т**
- Талейархана, Рузи 378
Тати, Сусуму 66, 68
Тейлор, Дорис 200
Тейлор, Теодор 347
Телеприсутствие 52
«Терминатор» (фильмы) 45
Термоядерный синтез 363–376
Терраформирование Марса 419, 421
Терроризм 104, 105, 260–262, 347, 519
Технология изменения формы 302
Технология,
четыре стадии развития 463
Тидман, Дерек 429
Тканевая инженерия 196, 201, 235
ТКИД 207
Томазо Поджо 116, 117, 571
Тоффлер, Альфред и Хейди 491
Транзисторы 19, 37, 39, 46, 64–67,
81, 112, 174, 179, 180, 269,
278, 292–297, 300, 307, 312
«Трансформеры. Месть падших» (фильм)
104
Тримайл-Айленд,
атомная авария 339, 340
Тундры таяние 356
Тур, Джеймс 284
Туруо, Лестер 457, 484, 485, 489
Тьюрингом, Алан 111
Тяготение 19, 408, 450
- У**
- Уайльд, Оскар 223
Углеродные нанотрубки 296

ПРЕДМЕТНО-ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

Уилсон Э.О. 213
Улам, Станислав 156
Ультрацентрифуги 344, 345
«Умница Уилл Хантинг» (фильм) 187
Универсальные переводчики 76
Уорнер, Гарри 17
Уотсон, Джеймс 185, 189, 574
Уотсон, Томас 17
«Утечка мозгов» в США 494
Утопии 317, 318

Ф

Фарадей, Майкл 19, 462
Фарнсуорт, Фило 378, 379
Фарохзад, Омид 282
Фейнман, Ричард 223, 267, 269, 275
Феодализм 460
Флейшманн, Мартин 365, 366, 379
«Флэш Гордон» (телесериал) 9
Форд, Генри 160, 329, 337, 468, 480, 536
Формы жизни, искусственное создание 22, 186, 248, 360
Фотографии сновидений 88
Фотография мечты 27
Франклин, Бенджамин 532, 533
Фрейд, Зигмунд 165
Фрейтас, Роберт 235
«Фрида» (Р. Хайнлайн) 430
Фридман, Джошуа 86
Фридман, Томас 468
Фриш, Макс 40

Х

Хабберт, Кинг 326, 327
Хайнлайн, Роберт 430
Хаксли, Олдос 254, 255
Хан, Абдул Кадир 344, 345
Хебба правило 112, 215
Хейфлика предел 234
Хеклер, Ричард 110
Хендрикс, Джон 335
Хокинг, Стивен 83
Хофферт, Мартин 387
Хофштадтер, Дуглас 148, 568
Худ, Лерой 290
Хусейн, Саддам 345
Хээлтайн, Уильям 232
Хэпгуд, Фред 135

Ц

Цивилизации
инопланетные 76, 523
расцвет и падение империй 457
сопротивление цивилизации
I типа 519
типы, характеристики 506–508
энтропия и 223, 528, 529
Цинь, китайский император 222
Циолковский, Константин 430
Цифровое расслоение общества 485
Цянь, Джозеф 214

Ч

Чалмерс Дэвид 149
Чарльз, принц Уэльский 315
Человеческий гормон роста (ГРЧ) 256
Чернобыльская катастрофа 339
Чёрч, Джордж 246, 565
Черчилль, Уинстон 9, 37, 535
Чжан Пэй 452
Чжан Цзинь 283
Чиприани, Кристиан 169
Чтение мыслей 84, 89

Ш

Швабл, Майк 337
Шварценеггер, Арнольд 202, 216, 301
Шварц, Питер 356, 572
Шекспир, Уильям 30, 536
Шентаг, Джером 280
Шопенгауэр, Артур 35
Шопинг в 2100г. 70
Шостак, Сет 524, 573
Шоу, Джордж Бернард 535
Шрёдингер, Эрвин 189
Штормер, Хорст 267
Шульц, Тая 77
Шустер, Стивен 247
Шэнь, Вэйминь 124

Э

Эбола вирус 253, 518
Эвристика 120, 121, 134
Эдисон, Томас 19, 329, 462, 464, 475
Эйзенхауэр, Дуайт 18
Эйнштейн, Альберт 9, 12, 165, 180, 402, 443, 564, 567, 570, 572
Экенстам, Робин 169
Экономика
индустрия развлечений 29, 475

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

- наука и техника как движущие силы
 процветания 460
рынок труда 495, 536
цивилизация I типа 23, 507, 509, 514,
 517, 519, 523, 531, 534
- Экспертные системы 120
- Элбон, Джон 425
- Электромагнетизм 372
- Электромобили 334, 335, 338
- Эмоциональные роботы 129
- Эндрюс, Дейна 441
- Энергия 10, 19–23, 86, 91–99, 110, 143,
 159, 165, 186, 224, 227, 233, 239,
 269, 284, 321–339, 350, 353,
 357, 362–367, 370, 375–390, 399,
 400, 404, 420, 426–429, 433,
 434, 437–445, 450, 462, 478, 489,
 504–508, 520–530, 544, 546
магнетизм 19, 97, 325, 380, 383, 544
молекулярные машины 284 285, 287
нефть 69, 325–334, 341, 350, 363, 507
солнечная энергия 325–334,
 347, 353, 387, 390
термоядерный синтез
 362, 364, 367–376
углеродные нанотрубки и
 290–292, 296, 431, 433
черные курительщики
 как источник энергии 400
электромобили и 334, 338
ветра 330, 331
ядерное оружие, опасность 19, 343,
 345, 347, 356, 410, 477, 536
- Энтропия 223, 224, 527–530
- Эстроген 224
- ЭЭГ (электроэнцефалограмма)
 85, 99, 173
- Ю**
- Юдковский, Элиезер 162
- Юкка-Маунтин, центр
 захоронения отходов 342
- «Юлий Цезарь» (У. Шекспир) 536
- Я**
- Ядерное оружие, опасность
 342, 347, 356
- Ядерные взаимодействия
 (слабые и сильные) 463
- Ядерные отходы 339, 342
- Ядерный распад 319, 362
- Языки 77, 509
- Янг, Ларри 216
- Янг, Ларри 216, 217
- «Я, робот» (фильм) 161
- А**
- AIBO, робот 134
- ASIMO, робот 104, 106
- ASPM, ген 244
- В**
- Blue Gene, компьютер 140, 141
- Boeing, корпорация 425
- BrainGate устройство 82
- С**
- Chevy Volt 335
- Constellation, программа 406, 411
- COROT, спутник 397, 523
- CYC, проект 115
- Д**
- Deep Blue, компьютер 110, 178
- DEMO, термоядерный реактор 376
- Г**
- GPS-система 119
- Н**
- HAR, участник генома 245
- И**
- IKAROS, космический аппарат 438
- ITER, Международный термоядерный
 экспериментальный реактор 369,
 371, 373
- К**
- Kepler, космический телескоп 397, 523
- KISMET, робот 133
- Л**
- LAGR, робот 118
- LaserMotive, исследовательская группа
 434
- LCD-экраны 44, 302
- LCROSS, космический аппарат 415
- LISA, космический аппарат 402
- М**
- Merrill Lynch, компания 471
- MOUSE, MPT-аппарат 94–96
- Н**
- New York Times 17, 103, 364, 468, 569

ПРЕДМЕТНО-ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

NIF, экспериментальный термоядерный реактор 369, 370

O

OLED, органические светодиоды 53

P

PAMELA, космический аппарат 445

Popular Mechanics, журнал 38

Predator, беспилотный самолет 104, 105, 163, 447

R

RP-6, мобильный робот 122

S

Second Life, веб-сайт 56

SETI. программа 524

SixthSense, прокт 74

SpaceShip, космический корабль 423, 424, 427

STAIR, робот 117

T

Tesla Roadster, электромобиль 335

V

Virgin Galactic, компания 423

W

WMAP., космический аппарат 401

X

X Prize, конкурс 423, 427

КАКУ МИТИО

ФИЗИКА БУДУЩЕГО

Руководитель проекта *И. Серёгина*
Корректоры *О. Ильинская*
Компьютерная верстка *О. Морозова*
Иллюстратор *А. Андреев*
Дизайнер обложки *С. Тимонов*
Автор фото на обложке *Andrea Brizzi*

Подписано в печать 25.10.2011. Формат $60 \times 90^{1/16}$.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Объем 36,5 печ. л. Тираж 5000 экз. Заказ №

Альпина нон-фикшн
123060, г. Москва,
ул. Расплетина, д. 19, офис 2
Тел. (495) 980-5354
www.nonfiction.ru



Митио Каку

Митио Каку (род. 24 января 1947 года в Сан-Хосе, Калифорния) — профессор теоретической физики, более четверти века преподает в Нью-Йоркском Сити-колледже, кроме того, работает в Институте перспективных исследований в Принстоне и в Нью-Йоркском университете. Выдающийся ученый, один из создателей теории струн, Митио Каку получил особое признание во всем мире благодаря активной деятельности по популяризации теоретической физики и современных концепций об устройстве мироздания. Его книги, в том числе такие бестселлеры, как «Гиперпространство» и «Физика невозможного», переведены на десятки языков, а радио- и телепередачи слушают и смотрят на сотнях каналов.

В «Физике будущего» Митио Каку знакомит читателей с поразительным, дерзким и вдохновляющим взглядом на начавшееся столетие. В основу книги легли беседы с более чем 300 учеными мирового уровня, в лабораториях которых изобретается и моделируется это будущее. Результат — в высшей степени авторитетное и точное в научном отношении описание революционных перемен в области медицины, компьютеров, искусственного интеллекта, нанотехнологий, энергетики и исследования космоса.

мы на **facebook**

www.facebook.com/alpinanonfiction

альпина нон-фикшн

телефон: (495) 980-5354

www.nonfiction.ru

ISBN 978-5-91671-164-6



9 785916 711646

 Э | Л | Е | М | Е | Н | Т | Ы
elementy.ru

