

Посвящается моей любящей жене Сицзуэ,
а также Мишель и Элисон

ФИЗИКА НЕВОЗМОЖНОГО

Michio Kaku

PHYSICS OF THE IMPOSSIBLE

A Scientific Exploration
into the World of Phasers, Force Fields,
Teleportation, and Time Travel

Doubleday

New York London Toronto Sydney Auckland

Митио Каку

ФИЗИКА НЕВОЗМОЖНОГО

Перевод с английского

2-е издание



Москва
2010

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	7
БЛАГОДАРНОСТИ	19

ЧАСТЬ I. НЕВОЗМОЖНОСТИ I КЛАССА

1. ЗАЩИТНОЕ СИЛОВОЕ ПОЛЕ.....	25
2. НЕВИДИМОСТЬ	42
3. ФАЗЕРЫ И ЗВЕЗДЫ СМЕРТИ.....	65
4. ТЕЛЕПОРТАЦИЯ.....	90
5. ТЕЛЕПАТИЯ	111
6. ТЕЛЕКИНЕЗ.....	134
7. РОБОТЫ	153
8. ВНЕЗЕМНЫЕ ЦИВИЛИЗАЦИИ И ЛЕТАЮЩИЕ ТАРЕЛКИ	182
9. ЗВЕЗДОЛЕТЫ.....	218
10. АНТИВЕЩЕСТВО И АНТИВСЕЛЕННЫЕ	251

СОДЕРЖАНИЕ

ЧАСТЬ II. НЕВОЗМОЖНОСТИ II КЛАССА

11. БЫСТРЕЕ СВЕТА	273
12. ПУТЕШЕСТВИЯ ВО ВРЕМЕНИ	298
13. ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВСЕЛЕННЫЕ	314

ЧАСТЬ III. НЕВОЗМОЖНОСТИ III КЛАССА

14. ВЕЧНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ	349
15. ПРЕДВИДЕНИЕ БУДУЩЕГО	367

ЭПИЛОГ. БУДУЩЕЕ НЕВОЗМОЖНОГО	382
--	-----

ПРИМЕЧАНИЯ	407
----------------------	-----

БИБЛИОГРАФИЯ	427
------------------------	-----

ПРЕДМЕТНО-ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ	430
---------------------------------------	-----

ВВЕДЕНИЕ

Если в первый момент идея не кажется абсурдной, она безнадежна.

Альберт Эйнштейн

Научимся ли мы когда-нибудь проходить сквозь стены? Строить звездные корабли, способные летать быстрее света? Читать мысли? Становиться невидимыми? Двигать предметы силой мысли? Мгновенно преодолевать космическое пространство?

Меня с детства мучили подобные вопросы. Подобно многим физикам, я вырос с мечтой о путешествиях во времени, лучевых пушках, силовых полях, параллельных вселенных и т. п. Магия, фэнтези и научная фантастика были для моего воображения гигантской игровой площадкой. С них начались моя непреходящая любовь и интерес к невозможному.

Помню, как я смотрел по телевизору повтор старого сериала «Флэш Гордон». Каждую субботу я приклеивался к экрану, наблюдая за приключениями Флэша, д-ра Заркова и Дейла Ардена. Еще большее изумление вызывала у подростка фигурировавшая в фильме чудесная техника будущего: ракетные корабли, щиты невидимости, лучевые пушки и города в небе. Я не пропустил ни одной недели. Эта программа открыла для меня совершенно новый мир. С замиранием сердца я думал, что когда-нибудь полечу на ракете на другую планету и буду исследовать ее неизведанные территории. Я был втянут в орбиту этих фантастических идей и твердо знал, что моя собственная судьба тоже будет связана с чудесами науки, о которых рассказывал сериал.

ФИЗИКА НЕВОЗМОЖНОГО

Как оказалось, я был не одинок. Многие успешные ученые признавались, что первым шагом к науке для них стало увлечение научной фантастикой. К примеру, великий астроном Эдвин Хаббл был еще в детстве очарован книгами Жюль Верна. Начитавшись французского фантаста, он отказался от многообещающей юридической карьеры и вопреки желанию отца начал заниматься наукой. Со временем Хаббл стал величайшим астрономом XX в. Воображение Карла Сагана, выдающегося астронома и автора бестселлеров, воспламенили романы Эдгара Райса Берроуза про марсианские приключения Джона Картера. Подобно герою этих романов, Саган мечтал когда-нибудь исследовать красные пески Марса.

Я был ребенком, когда умер Альберт Эйнштейн, но я помню, как люди тихо говорили о его жизни и смерти. На следующий день я увидел в газете фотографию его стола с незаконченной рукописью величайшей работы, которую он не успел завершить. Я спросил себя: «Какая же проблема может быть настолько важной, чтобы величайший ученый нашего времени не смог решить ее?»

В статье говорилось, что у Эйнштейна была невыполнимая мечта, была задача, полностью решить которую не в состоянии ни один смертный. Лишь через много лет я узнал, какому же вопросу была посвящена незаконченная рукопись: величественной и всеобъемлющей «теории всего». Мечта Эйнштейна, которой были посвящены три последних десятилетия его жизни, помогла мне сосредоточить свое воображение и усилия. Мне захотелось хоть немного поучаствовать в завершении труда Эйнштейна — объединении всех законов физики в единую теорию.

Став старше, я начал понимать, что Флэш Гордон, конечно, герой и девчонка всегда достается ему, но главное лицо, без которого этот сериал просто не мог бы существовать, — ученый. Без доктора Заркова не было бы ни ракетного корабля, ни путешествия на Монго, ни спасения Земли. Героизм героизмом, но без науки не будет и научной фантастики.

ВВЕДЕНИЕ

В конце концов я понял, что все эти сказки просто полет фантазии, что наука ничего подобного не допускает. Взрослея, человек отказывается от подобных фантазий. Мне не единожды говорили, что в настоящей жизни приходится отказываться от невозможного и довольствоваться реальным.

Однако я решил, что ключом к моему увлечению невозможным должна стать физика. Без прочной и надежной физической базы можно без конца рассуждать о футуристических технологиях — не понимая даже, возможны они в принципе или нет. Я понял, что мне необходимо погрузиться в мир высшей математики и изучить теоретическую физику. Так я и сделал.

В старших классах, работая над проектом для молодежной научной выставки, я собрал в маминном гараже ускоритель. Первым делом я отправился на фирму Westinghouse и добыл там 400 фунтов обрезков трансформаторной стали. За рождественские каникулы я намотал на школьном стадионе 22 мили медной проволоки. В конце концов я соорудил ускоритель частиц (бетатрон) на 2,3 МэВ; он потреблял 6 кВт электричества (т. е. все, что можно было получить в нашем доме) и создавал магнитное поле, в 20 000 раз превышающее по мощности магнитное поле Земли. Моей целью было получить пучок гамма-лучей, достаточно мощный для создания антивещества. Этот школьный проект привел меня на Национальную научную выставку и в конце концов помог исполнить мечту — получить стипендию в Гарварде. Я сумел добиться своей цели: стать физиком-теоретиком и пойти по стопам своего кумира, Альберта Эйнштейна.

Сегодня я получаю электронные письма от сценаристов и писателей-фантастов, они просят помочь им уточнить, не противоречит ли их вымысел законам физики.

«Невозможное» относительно

Как физик я твердо усвоил, что «невозможное» очень часто относительно. С детства помню, как учительница однажды по-

ФИЗИКА НЕВОЗМОЖНОГО

дошла к висевшей на стене карте Земли и указала на побережья Южной Америки и Африки. «Не странно ли, — спросила она, — что две береговые линии совпадают, почти как детали детской головоломки?» Еще она сказала, что некоторые ученые рассуждают о том, что когда-то эти материки были, возможно, частью одного громадного континента. Но это глупо. Никакая сила не в состоянии разорвать и растащить два гигантских материка. «Это невозможно, и даже думать об этом не надо», — сделала вывод учительница.

Позже в том же году мы изучали динозавров. «Не странно ли, — сказала учительница, что миллионы лет назад динозавры доминировали на Земле, а потом внезапно исчезли? Никто не знает, почему они вымерли. Некоторые палеонтологи считают, что их убил большой метеорит из космоса, но это невозможно, это из области научной фантастики».

Сегодня мы знаем, что тектонические плиты, а с ними и материки действительно движутся, а 65 млн лет назад гигантский метеорит 10 км в поперечнике, скорее всего, действительно погубил и динозавров, и во многом другие формы жизни на Земле. За свою короткую жизнь мне не раз пришлось видеть, как то, что прежде считалось невозможным, превращается в установленный научный факт. Так имеет ли смысл говорить, что телепортироваться из одного места в другое невозможно? Или что невозможно построить космический корабль, способный унести нас на многие световые годы от Земли к звездам?

Сегодняшние физики в большинстве своем скажут, что подобные чудеса невозможны. Но может быть, они станут возможны через несколько столетий? Или через десять тысяч лет, когда наши технологии получат новое развитие? А может, через миллион лет? Другими словами, если мы сейчас встретим цивилизацию, обогнавшую нас на миллион лет, не покажется ли нам привычная для них техника «чудом»? В этом и заключается один из центральных вопросов данной книги: если что-то

ВВЕДЕНИЕ

«невозможно» сегодня, то останется ли это невозможным и через сто, и через миллион лет?

Принимая во внимание удивительный прогресс науки за последние сто лет — в первую очередь речь идет о создании квантовой теории и общей теории относительности, — мы сегодня можем приблизительно оценить, когда могут быть реализованы некоторые из этих фантастических технологий, — если, конечно, это вообще когда-нибудь произойдет. С появлением еще более передовых теорий, таких как теория струн, физики начинают потихоньку пересматривать свое отношение даже к таким фантастическим, казалось бы, идеям, как путешествия во времени и параллельные вселенные.

Подумайте, всего 150 лет назад многое из того, что представляется нам сегодня естественным и даже обыденным, ученые объявляли «невозможным». В 1863 г. Жюль Верн написал роман под названием «Париж в XX веке»; роман этот был положен в ящик и забыт более чем на 100 лет, пока его случайно не обнаружил правнук писателя. Таким образом, роман этот был впервые опубликован в 1994 г. В нем Верн пытался представить, как будет выглядеть Париж в 1960 г.; роман изобилует описанием устройств и технологий, которые в XIX в. считались невозможными, включая факсы, всемирную коммуникационную сеть, стеклянные небоскребы, автомобили на газе и скоростные поезда на специальных эстакадах.

Не удивительно, что Жюль Верн смог предсказать многое с такой ошеломляющей точностью. Всю жизнь писатель был близок к миру науки и знал, о чем думают многие ученые. Глубокое понимание основ науки позволяло ему делать поразительные предсказания.

Как ни печально, но многие величайшие ученые XIX в. выбирали противоположную позицию и спешили объявить чуть ли не любую неизвестную технологию принципиально невозможной. Лорд Кельвин, возможно, самый выдающийся физик Викторианской эпохи (он похоронен в Вестминстерском аббат-

ФИЗИКА НЕВОЗМОЖНОГО

стве рядом с Исааком Ньютоном), уверенно заявлял, что летательные аппараты «тяжелее воздуха», такие как самолеты, никогда не взлетят. Он считал рентгеновские лучи обманом и был уверен, что у радио нет будущего. Лорд Резерфорд, открывший атомное ядро, отрицал возможность создания атомной бомбы и сравнивал любые попытки такого рода с «погоней за солнечным зайчиком». Химики XIX в. объявляли поиски философского камня — легендарной субстанции, способной превратить свинец в золото, — научным тупиком. Химия XIX в. базировалась на фундаментальном принципе неизменности химических элементов, в том числе и свинца. Но мы сегодня можем в принципе превратить атомы свинца в атомы золота при помощи мощного ускорителя. Представьте себе, какой фантастикой показались бы на грани XIX и XX вв. наши телевидение, компьютеры и Интернет!

Ближе к нашим временам можно привести другие примеры. Так, черные дыры долгое время считались научной фантастикой. Сам Эйнштейн в 1939 г. написал статью, в которой «доказал», что черные дыры не могут возникнуть в естественных условиях. Но космический телескоп имени Хаббла и рентгеновский телескоп «Чандра» успели уже обнаружить в космосе тысячи черных дыр.

Эти и другие технологии считались «невозможными» потому, что в XIX и в начале XX в. ученые не знали еще многих фундаментальных законов физики и науки. Учитывая громадные пробелы в знаниях того времени, особенно на атомном уровне, не удивительно, что ученые рассматривали подобные достижения как невозможные.

Зачем изучать невозможное?

Как ни странно это звучит, но серьезное изучение невозможного нередко приводило ученых к открытию новых, весьма многообещающих и совершенно неожиданных областей науки.

ВВЕДЕНИЕ

К примеру, тщетные и бесплодные попытки создать «вечный двигатель» продолжались не одно столетие. В результате физики сделали вывод о том, что такое устройство существовать не может; им пришлось постулировать закон сохранения энергии и три закона термодинамики. Таким образом, бесплодные сами по себе поиски вечного двигателя помогли открыть новую область науки — термодинамику, которая послужила базой, в частности, для создания парового двигателя, начала машинной эры и современного индустриального общества.

В конце XIX в. ученые полагали, что возраст Земли никак не может составлять несколько миллиардов лет; это просто невозможно. Лорд Кельвин категорично заявил, что современная Земля остыла бы всего за 20–40 млн лет, что противоречило данным геологии и дарвиновской биологии, утверждавших, что Земле вполне может быть несколько миллиардов лет от роду. В конце концов было доказано, что невозможное возможно; оказалось, что ядерные силы, открытые мадам Кюри и другими учеными, вполне способны удерживать ядро Земли в расплавленном состоянии миллиарды лет за счет радиоактивного распада.

Если же ученые игнорируют невозможное, то, как правило, сами и проигрывают в конечном итоге. В 1920-х и 1930-х гг. основатель современной ракетной техники Роберт Годдард подвергался серьезной критике; многие считали, что ракеты никогда не смогут подняться в космос. Его занятия даже называли саркастически «чудачества Годдарда». В 1921 г. редакторы *New York Times* вовсю издевались над работой доктора Годдарда: «Профессор Годдард не знает взаимосвязи между действием и противодействием и не понимает, что для получения реакции нужно что-нибудь получше вакуума. Похоже, ему не хватает элементарных знаний, которыми каждый день оперируют школьники». Ракеты невозможны, бушевал редактор, потому что в космосе нет воздуха и, значит, не от чего отталкиваться. Грустно, но только один глава государства понял

ФИЗИКА НЕВОЗМОЖНОГО

перспективное значение годдардовских «невозможных» ракет — и это был Адольф Гитлер. В результате во время Второй мировой войны германские невозможно передовые ракеты «Фау-2» сеяли смерть и разрушение в Лондоне и чуть было не поставили Англию на колени.

И это еще не все. Изучение невозможного могло изменить ход мировой истории. В 1930-е гг. ученые — включая и Эйнштейна — считали, что создать атомную бомбу «невозможно». Физики уже знали, что в глубинах атомного ядра, согласно уравнению Эйнштейна $E = mc^2$, заключено громадное количество энергии, но энергия, которая высвобождалась при распаде одного ядра, была слишком незначительной, чтобы о ней стоило всерьез говорить. Но физик-атомщик Лео Сцилард вспомнил прочитанный когда-то роман Герберта Уэллса «Освобожденный мир» (1914), где писатель предсказал создание атомной бомбы. В романе утверждалось, что некий физик раскрывает секрет атомной бомбы в 1933 г. Случаю было угодно, чтобы Сцилард наткнулся на эту книгу в 1932 г. Роман подстегнул его воображение, и в 1933 г., в точности как было предсказано Уэллсом почти за два десятилетия до этого, он придумал, как приумножить энергию одного атома при помощи цепной реакции; при этом энергию деления одного атома урана можно будет увеличить во многие триллионы раз. После этого Сцилард запустил несколько принципиальных экспериментов и организовал тайную переписку между Эйнштейном и президентом Франклином Рузвельтом. Результатом этих переговоров стали Манхэттенский проект и создание атомной бомбы.

Снова и снова мы видим, как изучение невозможного открывает для науки совершенно новые горизонты, расширяет пределы человеческих знаний в области физики и химии и заставляет ученых пересматривать саму концепцию «невозможного». Сэр Уильям Ослер однажды сказал: «Философия одного века в другом стала абсурдом, а вчерашняя глупость — завтрашней мудростью».

ВВЕДЕНИЕ

Многие физики готовы подписаться под знаменитым изречением Т.Х. Уайта, который написал в своей эпопее «Король былого и грядущего»: «Все, что не запрещено, обязательно!» В физике мы постоянно сталкиваемся с наглядными свидетельствами этого. Если не существует физического закона, который впрямую запрещал бы некое явление, оно, скорее всего, будет со временем обнаружено. (Такое происходило несколько раз при поиске новых субатомных частиц. Пытаясь проникнуть за границы запретного, физики нередко открывали новые физические законы.) Из утверждения Т.Х. Уайта можно сделать еще более сильный вывод: «Все, что не есть невозможно, обязательно!»

К примеру, космолог Стивен Хокинг долго пытался найти новый закон физики, который запрещал бы путешествия во времени, — он назвал его «гипотезой сохранения хронологии». Однако долгие годы тяжкого труда ни к чему не привели: он не смог доказать выдвинутый принцип. Напротив, не так давно физики сумели продемонстрировать, что закон, который запрещал бы путешествия во времени, находится за пределами сегодняшней математики. Теперь, поскольку закона, который не позволял бы построить машину времени, не существует, физикам приходится очень серьезно рассматривать такую возможность.

Цель данной книги — рассмотреть те технологии, которые сегодня считаются «невозможными», но через несколько десятков или сотен лет могут стать обычными.

Одна из «невозможных» технологий начинает это превращение уже сейчас: речь идет о телепортации (по крайней мере, на уровне атомов). Всего лишь несколько лет назад физики сказали бы, что мгновенный перенос объекта из одной точки пространства в другую нарушает законы квантовой физики. Авторы сценария первой части телевизионного сериала «Звездный путь» были настолько задеты критикой со стороны ученых, что добавили в сюжет некие «компенсаторы Гейзенберга», которые

должны были обеспечивать работу телепортирующих устройств и примирять их с законами физики. Но сегодня благодаря недавним революционным открытиям физики могут телепортировать атомы из одного конца комнаты в другой, а фотоны — с одного берега Дуная на другой.

Зачем предсказывать будущее?

Предсказывать будущее всегда немного опасно, особенно если речь идет о времени, отстоящем от нас на сотни или тысячи лет. Физик Нильс Бор любил говорить: «Предсказывать очень трудно. Особенно будущее». Но между временем Жюль Верна и сегодняшним днем существует принципиальная разница. Сегодня фундаментальные законы физики в основном понятны. Физики сегодня хорошо представляют себе законы, управляющие миром самых разных объектов, которые различаются по размерам на 43 порядка — поразительный диапазон, куда входит и внутреннее строение протона, и расширяющаяся Вселенная. В результате физики могут судить с разумной степенью уверенности о том, что примерно будет представлять собой технология будущего, и лучше отличать технологии всего лишь немыслимые от действительно невозможных.

Поэтому в данной книге я разделил «невозможное» на три категории.

В первую категорию попадает то, что я называю невозможностями I класса. Это технологии, сегодня невозможные, но не нарушающие известных законов природы. Таким образом, они могут стать возможными уже в этом столетии или, может быть, в следующем в измененной форме. К этой категории относятся телепортация, двигатели на антивеществе, некоторые формы телепатии, телекинез и невидимость.

Ко второй категории относится то, что я обозначил как невозможности II класса. Это технологии, лишь недавно все-речь обозначившиеся на переднем крае наших представлений

ВВЕДЕНИЕ

о физическом мире. Если они вообще возможны, то реализация их может растянуться на тысячи и даже миллионы лет. Сюда относятся машины времени, возможность гиперпространственных путешествий и путешествия сквозь кротовые норы.

К последней категории относится то, что я называю невозможностями III класса. Это технологии, которые нарушают известные нам физические законы. Удивительно, но невозможных технологий этого типа оказалось очень мало. И если когда-нибудь окажется, что они тоже возможны, это будет означать фундаментальный сдвиг в наших представлениях о физике.

Представляется, что такая классификация имеет смысл — ведь ученые с ходу отвергают многие технологии, постоянно присутствующие в научно-фантастических произведениях, как совершенно невозможные, но на самом деле имеют в виду всего-навсего, что они невозможны для примитивной цивилизации вроде нашей. К примеру, посещение Земли инопланетянами обычно считают невозможным из-за огромных расстояний между звездами. Но если для нас путешествие к звездам очевидно невозможно, для цивилизации, обогнавшей нас в развитии на сотни, тысячи или миллионы лет, оно может оказаться вполне доступным. Поэтому очень важно классифицировать подобные «невозможности». Технологии, недоступные нашей цивилизации в ее нынешнем состоянии, не обязательно столь же невозможны для цивилизации иного типа. Любые утверждения о возможном и невозможном должны учитывать, что за тысячи и миллионы лет техника любой цивилизации уйдет далеко вперед.

Карл Саган однажды написал: «Что значит для цивилизации возраст, скажем, в миллион лет? Радиотелескопы и космические корабли появились у нас несколько десятилетий назад; наша технологическая цивилизация насчитывает всего лишь несколько сотен лет... развитая цивилизация, за плечами которой миллионы лет развития, настолько же опережает нас, насколько мы сами опережаем какого-нибудь лемура или макаку».

ФИЗИКА НЕВОЗМОЖНОГО

Главным в моих собственных исследованиях и профессиональной деятельности я считаю попытку исполнить наконец мечту Эйнштейна и завершить работу над «теорией всего». Лично мне очень нравится работать над «окончательной теорией», которая даст, возможно, однозначный ответ на некоторые из самых трудных вопросов о «невозможности» в современной науке — к примеру, возможны ли путешествия во времени, что находится в центре черной дыры или что происходило до Большого взрыва. Я по-прежнему предан своей мечте о невозможном и нередко размышляю о том, когда некоторые вещи перестанут — и перестанут ли когда-нибудь? — быть невозможными и войдут в повседневную жизнь.

БЛАГОДАРНОСТИ

Материал этой книги охватывает множество областей и дисциплин, а также работы многих выдающихся ученых. Я бы хотел поблагодарить следующих лиц, которые любезно уделили мне время для продолжительных расспросов, консультаций и интересных и вдохновляющих бесед:

Леон Ледерман, нобелевский лауреат, Иллинойский технологический институт

Мюррей Гелл-Манн, нобелевский лауреат, Институт Санта-Фе и Калтех

покойный Генри Кендалл, нобелевский лауреат, Массачусетский технологический институт (MIT)

Стивен Вайнберг, нобелевский лауреат, Университет Техаса в Остине

Дэвид Гросс, нобелевский лауреат, Институт теоретической физики Кавли

Фрэнк Вильчек, нобелевский лауреат, MIT

Джозеф Ротблат, нобелевский лауреат, Госпиталь Св. Варфоломея

Уолтер Гилберт, нобелевский лауреат, Гарвардский университет

Джеральд Эделман, нобелевский лауреат, Исследовательский институт Скриппса

ФИЗИКА НЕВОЗМОЖНОГО

- Питер Догерти, нобелевский лауреат,
Детский исследовательский госпиталь Св. Иуды
- Джаред Дайамонд, лауреат премии Пулитцера,
Университет Калифорнии в Лос-Анджелесе
- Стэн Ли, автор комиксов «Марвел» и «Спайдермена»
- Брайан Грин, Колумбийский университет, автор книги
«Элегантная вселенная»
- Лайза Рэндалл, Гарвардский университет, автор книги
«Искривленные пути»
- Лоренс Краусс, Университет Кейз — Вестерн Резерв, автор
книги «Физика в Star Trek»
- Ричард Готт III, Принстонский университет, автор книги
«Путешествия во времени во вселенной Эйнштейна»
- Алан Гут, физик, MIT,
автор книги «Инфляционная вселенная»
- Джон Барроу, физик, Кембриджский университет, автор книги
«Невозможность»
- Пол Дэвис, физик, автор книги «Суперсила»
- Леонард Зусскинд, физик, Стэнфордский университет
- Джозеф Ликкен, физик, Национальная лаборатория имени
Ферми
- Марвин Мински, MIT, автор книги «Общество разумов»
- Рей Курцвейл, изобретатель, автор книги «Эра одушевленных
машин»
- Родни Брукс, директор Лаборатории искусственного
интеллекта MIT
- Ганс Моравек, автор книги «Робот»
- Кен Кросвелл, астроном, автор книги «Величественная
вселенная»
- Дон Голдсмит, астроном, автор книги «Сбежавшая вселенная»

БЛАГОДАРНОСТИ

Нейл де Грассе Тайсон, директор Хейденовского планетария,
Нью-Йорк

Роберт Киршнер, астроном, Гарвардский университет

Фульвиа Мелиа, астроном, Университет Аризоны

Сэр Мартин Рис, Кембриджский университет, автор книги
«До начала»

Майкл Браун, астроном, Калтех

Пол Гилстер, автор книги «Мечты о Центавре»

Майкл Лемоник, старший научный редактор журнала *Time*

Тимоти Феррис, Университет Калифорнии, автор книги
«Зрелость во Млечном пути»

покойный Тед Тейлор, разработчик американских ядерных
боеголовок

Фримен Дайсон, Институт перспективных исследований,
Принстон

Джон Хорган, Технологический институт Стивенса, автор
книги «Конец науки»

покойный Карл Саган, Корнеллский университет, автор книги
«Космос»

Энн Друян, вдова Карла Сагана, Cosmos Studios

Питер Шварц, футурист, основатель Global Business Network

Элвин Тоффлер, футурист, автор книги «Третья волна»

Дэвид Гудстейн, помощник проректора Калтеха

Сет Ллойд, MIT, автор книги «Программирование вселенной»

Фред Уотсон, астроном, автор книги «Звездочет»

Саймон Сингх, автор книги «Большой взрыв»

Сет Шостак, Институт SETI

Джордж Джонсон, научный обозреватель *New York Times*

Джеффри Хоффман, MIT, астронавт NASA

ФИЗИКА НЕВОЗМОЖНОГО

Том Джоунз, астронавт NASA

Алан Лайтман, MIT, автор книги «Мечты Эйнштейна»

Роберт Зубрин, основатель Марсианского общества

Донна Ширли, программа исследования Марса NASA

Джон Пайк, GlobalSecurity.org

Пол Саффо, футурист, Институт будущего

Луис Фридман, один из основателей Планетарного общества

Дэниел Вертхеймер, SETI@home, Университет Калифорнии
в Беркли

Роберт Зиммерман, автор книги «Покидая Землю»

Марша Братусяк, автор книги «Неоконченная симфония
Эйнштейна»

Майкл Саламон, программа «После Эйнштейна» NASA

Джефф Андерсен, Академия ВВС США, автор книги «Телескоп»

Я также хотел бы поблагодарить моего агента Стюарта Кричевски, который помогал мне в течение всех этих лет и занимался всеми моими книгами, а также редактора Роджера Шолла, чьи твердая рука, здравые суждения и редакторский опыт направляли многие мои книги. Я бы также хотел поблагодарить моих коллег из нью-йоркского Сити-Колледжа и аспирантуры Городского университета Нью-Йорка, в особенности В.П. Наира и Дэна Гринбергера, которые любезно нашли время для дискуссий.

ЧАСТЬ I

НЕВОЗМОЖНОСТИ I КЛАССА

I. ЗАЩИТНОЕ СИЛОВОЕ ПОЛЕ

I. Если заслуженный, но пожилой ученый утверждает, что некое явление возможно, он наверняка прав. Если он утверждает, что некое явление невозможно, он, весьма вероятно, ошибается.

II. Единственный способ определить пределы возможного — это набраться смелости и проникнуть на ту сторону, в невозможное.

III. Любая достаточно развитая технология неотличима от волшебства.

Три закона Артура Кларка

«Поднять щиты!» — так звучит первый приказ, который в бесконечном сериале «Звездный путь» отдает резким голосом капитан Кирк своему экипажу; послушный приказу экипаж включает силовые поля, призванные защитить космический корабль «Энтерпрайз» от огня противника.

В сюжете «Звездного пути» силовые поля настолько важны, что их состояние вполне может определить исход сражения. Стоит энергии силового поля истощиться, и корпус «Энтерпрайза» начинает получать удары, чем дальше, тем сокрушительнее; в конце концов поражение становится неизбежным.

Так что же такое защитное силовое поле? В научной фантастике это обманчиво простая штука: тонкий невидимый, но при этом непроницаемый барьер, способный одинаково легко отражать лазерные лучи и ракеты. На первый взгляд силовое поле представляется настолько простым, что создание — и ско-

рое — боевых щитов на его основе кажется неминуемым. Так и ждешь, что не сегодня-завтра какой-нибудь предприимчивый изобретатель объявит, что ему удалось получить защитное силовое поле. Но истина гораздо сложнее.

Подобно лампочке Эдисона, которая коренным образом изменила современную цивилизацию, силовое поле способно глубоко затронуть все без исключения стороны нашей жизни. Военные воспользовались бы силовым полем, чтобы стать неуязвимыми, создали бы на его основе непроницаемый щит от вражеских ракет и пуль. В теории можно было бы создавать мосты, великолепные шоссе и дороги одним нажатием кнопки. Целые города возникали бы в пустыне словно по мановению волшебной палочки; все в них, вплоть до небоскребов, строилось бы исключительно из силовых полей. Купола силовых полей над городами позволили бы их обитателям произвольно управлять погодными явлениями — штормовыми ветрами, снежными бурями, торнадо. Под надежным пологом силового поля можно было бы строить города даже на дне океанов. От стекла, стали и бетона можно было бы вообще отказаться, заменив все строительные материалы силовыми полями.

Но, как ни странно, силовое поле оказывается одним из тех явлений, которые чрезвычайно сложно воспроизвести в лаборатории. Некоторые физики даже полагают, что это вообще не удастся сделать без изменения его свойств.

Майкл Фарадей

Концепция физического поля берет начало в работах великого британского ученого XIX в. Майкла Фарадея.

Родители Фарадея принадлежали к рабочему классу (его отец был кузнецом). Сам он в начале 1800-х гг. состоял в подмастерьях у переплетчика и влачил достаточно жалкое существование. Но юный Фарадей был зачарован недавним гигантским прорывом в науке — открытием таинственных

ЗАЩИТНОЕ СИЛОВОЕ ПОЛЕ

свойств двух новых сил, электричества и магнетизма. Он жадно поглощал всю доступную ему информацию по этим вопросам и посещал лекции профессора Хамфри Дэви из Королевского института в Лондоне.

Однажды профессор Дэви серьезно повредил глаза во время неудачного химического эксперимента; понадобился секретарь, и он взял на эту должность Фарадея. Постепенно молодой человек завоевал доверие ученых Королевского института и получил возможность проводить собственные важные эксперименты, хотя нередко ему приходилось терпеть и пренебрежительное отношение. С годами профессор Дэви все ревнивее относился к успехам своего талантливой молодого помощника, который поначалу считался в кругах экспериментаторов восходящей звездой, а со временем затмил славу самого Дэви. Только после смерти Дэви в 1829 г. Фарадей получил научную свободу и осуществил целую серию поразительных открытий. Результатом их стало создание электрических генераторов, обеспечивших энергией целые города и изменивших ход мировой цивилизации.

Ключом к величайшим открытиям Фарадея стали силовые, или физические, поля. Если поместить железные опилки над магнитом и встряхнуть, выяснится, что опилки укладываются в рисунок, напоминающий паутину и занимающий все пространство вокруг магнита. «Нити паутины» — это и есть фарадеевы силовые линии. Они наглядно показывают, как распределяются в пространстве электрическое и магнитное поля. К примеру, если изобразить графически магнитное поле Земли, то обнаружится, что линии исходят откуда-то из области Северного полюса, а затем возвращаются и снова уходят в землю в области Южного полюса. Аналогично, если изобразить силовые линии электрического поля молнии во время грозы, выяснится, что они сходятся на кончике молнии.

Пустое пространство для Фарадея вовсе не было пустым; оно было заполнено силовыми линиями, при помощи которых можно было заставить отдаленные предметы двигаться.

ФИЗИКА НЕВОЗМОЖНОГО

(Бедная юность не позволила Фарадею получить систематическое образование, и он практически не разбирался в математике; вследствие этого его записные книжки были заполнены не уравнениями и формулами, а нарисованными от руки диаграммами силовых линий. По иронии судьбы именно недостаток математического образования заставил его разработать великолепные диаграммы силовых линий, которые сегодня можно увидеть в любом учебнике физики. Физическая картина в науке нередко более важна, чем математический аппарат, который используется для ее описания.)

Историки выдвинули немало предположений о том, что именно привело Фарадея к открытию физических полей — одного из важнейших понятий в истории всей мировой науки. Фактически вся без исключения современная физика написана на языке фарадеевых полей. В 1831 г. Фарадей совершил ключевое открытие в области физических полей, навсегда изменившее нашу цивилизацию. Однажды, пронося магнит — детскую игрушку — над проволочной рамкой, он заметил, что в рамке возникает электрический ток, хотя магнит с ней не соприкасается. Это означало, что невидимое поле магнита способно на расстоянии заставить электроны двигаться, создавая ток.

Силовые поля Фарадея, которые до этого момента считались бесполезными картинками, плодом досужей фантазии, оказались реальной материальной силой, способной двигать объекты и генерировать энергию. Сегодня можно сказать наверняка: источник света, которым вы пользуетесь, чтобы прочесть эту страницу, получает энергию благодаря открытиям Фарадея в области электромагнетизма. Вращающийся магнит создает поле, которое толкает электроны в проводнике и заставляет их двигаться, рождая электрический ток, который затем можно использовать для питания лампочки. На этом принципе основаны генераторы электричества, обеспечивающие энергией города всего мира. К примеру, поток воды, падающий

ЗАЩИТНОЕ СИЛОВОЕ ПОЛЕ

с плотины, заставляет вращаться гигантский магнит в турбине; магнит толкает электроны в проводе, формируя электрический ток; ток, в свою очередь, течет по высоковольтным проводам в наши дома.

Другими словами, силовые поля Майкла Фарадея и есть те самые силы, что движут современной цивилизацией, всеми ее проявлениями — от электровозов до новейших вычислительных систем, Интернета и карманных компьютеров.

Полтора столетия фарадеевы физические поля вдохновляли физиков на дальнейшие исследования. На Эйнштейна, к примеру, они оказали такое сильное воздействие, что он сформулировал свою теорию гравитации на языке физических полей. На меня тоже работы Фарадея произвели сильнейшее впечатление. Несколько лет назад я успешно сформулировал теорию струн в терминах физических полей Фарадея, заложив таким образом фундамент для полевой теории струн. В физике сказать про кого-то, что он мыслит силовыми линиями, означает сделать этому человеку серьезный комплимент.

Четыре фундаментальных взаимодействия

Одним из величайших достижений физики за последние два тысячелетия стало выделение и определение четырех видов взаимодействия, которые правят вселенной. Все они могут быть описаны на языке полей, которым мы обязаны Фарадею. К несчастью, однако, ни один из четырех видов не обладает в полной мере свойствами силовых полей, описанных в большинстве фантастических произведений. Перечислим эти виды взаимодействия.

1. Гравитация. Безмолвная сила, не позволяющая нашим ногам оторваться от опоры. Она не дает рассыпаться Земле и звездам, помогает сохранить целостность Солнечной системы и Галактики. Без гравита-

ФИЗИКА НЕВОЗМОЖНОГО

ции вращение планеты вышвырнуло бы нас с Земли в космос со скоростью 1000 миль в час. Проблема в том, что свойства гравитации в точности противоположны свойствам фантастических силовых полей. Гравитация — сила притяжения, а не отталкивания; она чрезвычайно слаба — относительно, разумеется; она работает на громадных, астрономических расстояниях. Другими словами, являет собой почти полную противоположность плоскому, тонкому, непроницаемому барьеру, который можно встретить едва ли не в любом фантастическом романе или фильме. К примеру, перышко к полу притягивает целая планета — Земля, но мы легко можем преодолеть притяжение Земли и поднять перышко одним пальцем. Воздействие одного нашего пальца способно преодолеть силу притяжения целой планеты, которая весит больше шести триллионов килограммов.

2. Электромагнетизм (ЭМ). Сила, освещающая наши города. Лазеры, радио, телевидение, современная электроника, компьютеры, Интернет, электричество, магнетизм — все это следствия проявления электромагнитного взаимодействия. Возможно, это самая полезная сила, которую удалось обуздать человечеству на протяжении всей его истории. В отличие от гравитации она может работать и на притяжение, и на отталкивание. Однако и она не годится на роль силового поля по нескольким причинам. Во-первых, ее можно легко нейтрализовать. К примеру, пластик или любой другой непроводящий материал без труда проникнет в мощное электрическое или магнитное поле. Кусок пластика, брошенный в магнитное поле, свободно пролетит его насквозь. Во-вторых, электромагнетизм действует на больших расстояниях, его непросто сосредоточить в плоскости. Законы ЭМ-взаимодействия описываются

ЗАЩИТНОЕ СИЛОВОЕ ПОЛЕ

уравнениями Джеймса Клерка Максвелла, и похоже, силовые поля не являются решением этих уравнений.

3 и 4. Сильные и слабые ядерные взаимодействия. Слабое взаимодействие — это сила радиоактивного распада, та, что разогревает радиоактивное ядро Земли. Эта сила стоит за извержениями вулканов, землетрясениями и дрейфом континентальных плит. Сильное взаимодействие не дает рассыпаться ядрам атомов; оно обеспечивает энергией солнце и звезды и отвечает за освещение Вселенной. Проблема в том, что ядерное взаимодействие работает только на очень маленьких расстояниях, в основном в пределах атомного ядра. Оно так прочно связано со свойствами самого ядра, что управлять им чрезвычайно трудно. В настоящее время нам известно только два способа влиять на это взаимодействие: мы можем разбить субатомную частицу на части в ускорителе или взорвать атомную бомбу.

Хотя защитные поля в научной фантастике и не подчиняются известным законам физики, все же существуют лазейки, которые в будущем, вероятно, сделают создание силового поля возможным. Во-первых, существует, возможно, пятый вид фундаментального взаимодействия, который никому до сих пор не удалось увидеть в лаборатории. Может оказаться, к примеру, что это взаимодействие работает только на расстояниях от нескольких дюймов до фута — а не на астрономических расстояниях. (Правда, первые попытки обнаружить пятый вид взаимодействия дали отрицательные результаты.)

Во-вторых, нам, возможно, удастся заставить плазму имитировать некоторые свойства силового поля. Плазма — это «четвертое состояние вещества». Три первые, привычные нам состояния вещества, — твердое, жидкое и газообразное; тем не менее самой распространенной формой вещества во вселенной является плазма: газ, состоящий из ионизированных атомов.

Атомы в плазме не связаны между собой и лишены электронов, а потому обладают электрическим зарядом. Ими можно без труда управлять при помощи электрического и магнитного полей.

Видимое вещество вселенной существует по большей части в форме различного рода плазмы; из нее образованы солнце, звезды и межзвездный газ. В обычной жизни мы почти не сталкиваемся с плазмой, потому что на Земле это явление редкое; тем не менее плазму можно увидеть. Для этого достаточно взглянуть на молнию, солнце или экран плазменного телевизора.

Плазменные окна

Как уже отмечалось выше, если нагреть газ до достаточно высокой температуры и получить таким образом плазму, то при помощи магнитного и электрического полей можно будет ее удерживать и придавать ей форму. К примеру, плазме можно придать форму листа или оконного стекла. Более того, такое «плазменное окно» можно использовать в качестве перегородки между вакуумом и обычным воздухом. В принципе, таким образом можно было бы удерживать воздух внутри космического корабля, не давая ему улечься в пространство; плазма в этом случае образует удобную прозрачную оболочку, границу между открытым космосом и кораблем.

В сериале «Звездный путь» силовое поле используется, в частности, для того, чтобы изолировать отсек, где находится и откуда стартует небольшой космический челнок, от космического пространства. И это не просто хитрая уловка, призванная сэкономить деньги на декорациях; такая прозрачная невидимая пленка может быть создана.

Плазменное окно придумал в 1995 г. физик Эди Гершкович в Брукхейвенской национальной лаборатории (Лонг-Айленд, штат Нью-Йорк). Это устройство было разработано в процессе

ЗАЩИТНОЕ СИЛОВОЕ ПОЛЕ

решения другой задачи — задачи сварки металлов при помощи электронного луча. Ацетиленовая горелка сварщика плавит металл потоком раскаленного газа, а затем уже соединяет куски металла воедино. При этом известно, что пучок электронов способен сваривать металлы быстрее, чище и дешевле, чем получается при обычных методах сварки. Главная проблема метода электронной сварки состоит в том, что осуществлять ее необходимо в вакууме. Это требование создает большие неудобства, поскольку означает сооружение вакуумной камеры — размером, возможно, с целую комнату.

Для решения этой проблемы д-р Гершкович изобрел плазменное окно. Это устройство размером всего 3 фута в высоту и 1 фут в диаметре; оно нагревает газ до температуры 6500 °С и тем самым создает плазму, которая сразу же попадает в ловушку электрического и магнитного полей. Частицы плазмы, как частицы любого газа, оказывают давление, которое не дает воздуху ворваться и заполнить собой вакуумную камеру. (Если использовать в плазменном окне аргон, он испускает голубоватое свечение, совсем как силовое поле в «Звездном пути».)

Плазменное окно, очевидно, найдет широкое применение в космической отрасли и промышленности. Даже в промышленности для микрообработки и сухого травления часто необходим вакуум, но применение его в производственном процессе может оказаться очень дорогим. Но теперь, с изобретением плазменного окна, удерживать вакуум одним нажатием кнопки станет несложно и недорого.

Но можно ли использовать плазменное окно как непроницаемый щит? Защитит ли оно от выстрела из пушки? Можно вообразить появление в будущем плазменных окон, обладающих гораздо большей энергией и температурой, достаточной для испарения попадающих в него объектов. Но для создания более реалистичного силового поля с известными по фантастическим произведениям характеристиками потребуется многослойная комбинация нескольких технологий. Возможно,

ФИЗИКА НЕВОЗМОЖНОГО

каждый слой сам по себе не будет достаточно прочным, чтобы остановить пушечное ядро, но вместе нескольких слоев может оказаться достаточно.

Попробуем представить себе структуру такого силового поля. Внешний слой, к примеру сверхзаряженное плазменное окно, разогретое до температуры, достаточной для испарения металлов. Вторым слоем может оказаться завеса из высокоэнергетических лазерных лучей. Такая завеса из тысяч перекрещивающихся лазерных лучей создавала бы пространственную решетку, которая нагревала бы проходящие через нее объекты и эффективно испаряла их. Более подробно мы поговорим о лазерах в следующей главе.

Далее, за лазерной завесой, можно вообразить себе пространственную решетку из «углеродных нанотрубок» — крохотных трубочек, состоящих из отдельных атомов углерода, со стенками толщиной в один атом. Таким трубки во много раз прочнее стали. На данный момент самая длинная из полученных в мире углеродных нанотрубок имеет длину всего около 15 мм, но можно уже предвидеть день, когда мы сможем создавать углеродные нанотрубки произвольной длины. Предположим, что из углеродных нанотрубок можно будет сплести пространственную сеть; в этом случае мы получим чрезвычайно прочный экран, способный отразить большинство объектов. Экран этот будет невидим, так как каждая отдельная нанотрубка по толщине сравнима с атомом, но пространственная сеть из углеродных нанотрубок превзойдет по прочности любой другой материал.

Итак, мы имеем основания предположить, что сочетание плазменного окна, лазерной завесы и экрана из углеродных нанотрубок может послужить основой для создания почти непроницаемой невидимой стены.

Но даже такой многослойный щит будет не в состоянии продемонстрировать все свойства, которые научная фантастика приписывает силовому полю. Так, он будет прозрачен,

ЗАЩИТНОЕ СИЛОВОЕ ПОЛЕ

а значит, не сможет остановить лазерный луч. В битве с применением лазерных пушек наши многослойные щиты окажутся бесполезными.

Чтобы остановить лазерный луч, щит должен будет кроме перечисленного обладать сильно выраженным свойством «фотохроматичности», или переменной прозрачности. В настоящее время материалы с такими характеристиками используются при изготовлении солнечных очков, способных затемняться при воздействии УФ-излучения. Переменная прозрачность материала достигается за счет использования молекул, которые могут существовать по крайней мере в двух состояниях. При одном состоянии молекул такой материал прозрачен. Но под воздействием УФ-излучения молекулы мгновенно переходят в другое состояние и материал теряет прозрачность.

Возможно, когда-нибудь мы сможем при помощи нанотехнологии получить вещество, прочное, как углеродные нанотрубки, и способное менять свои оптические свойства под воздействием лазерного луча. Щит из такого вещества сможет останавливать не только потоки частиц или оружейные снаряды, но и лазерный удар. В настоящее время, однако, не существует материалов с переменной прозрачностью, способных остановить лазерный луч.

Магнитная левитация

В научной фантастике силовые поля выполняют еще одну функцию, кроме отражения ударов из лучевого оружия, а именно служат опорой, которая позволяет преодолевать силу притяжения. В фильме «Назад в будущее» Майкл Фокс катается на «ховерборде», или «парящей доске»; эта штука во всем напоминает привычный скейтборд, вот только «ездит» по воздуху, над поверхностью земли. Физические законы — такие, какими мы их знаем на сегодняшний день, — не позволяют реализовать

ФИЗИКА НЕВОЗМОЖНОГО

подобное антигравитационное устройство (как мы увидим в главе 10). Но можно представить себе в будущем создание других устройств — парящих досок и парящих автомобилей на магнитной подушке; эти машины позволят нам без труда поднимать и удерживать на весу крупные объекты. В будущем, если «сверхпроводимость при комнатной температуре» станет доступной реальностью, человек сможет поднимать в воздух предметы, используя возможности магнитных полей.

Если мы поднесем северный полюс постоянного магнита к северному же полюсу другого такого же магнита, магниты будут отталкиваться друг от друга. (Если мы перевернем один из магнитов и поднесем его южным полюсом к северному полюсу другого, два магнита будут притягиваться.) Этот же принцип — то, что одноименные полюса магнитов отталкиваются, — можно использовать для подъема с земли огромных тяжестей. Уже сейчас в нескольких странах идет строительство технически передовых поездов на магнитной подвеске. Такие поезда проносятся не по путям, а над ними на минимальном расстоянии; на весу их удерживают обычные магниты. Поезда как бы парят в воздухе и могут благодаря нулевому трению развивать рекордные скорости.

Первая в мире коммерческая автоматизированная транспортная система на магнитной подвеске была запущена в действие в 1984 г. в британском городе Бирмингеме. Она соединила терминал международного аэропорта и расположенный неподалеку железнодорожный вокзал. Поезда на магнитной подвеске действуют также в Германии, Японии и Корее, хотя большинство из них не предназначены для высоких скоростей. Первый скоростной коммерческий поезд на магнитной подвеске начал ходить по запущенному в действие участку трассы в Шанхае; этот поезд движется по трассе со скоростью до 431 км/ч. Японский поезд на магнитной подвеске в префектуре Яманаси разогнался до скорости 581 км/ч — т. е. двигался значительно быстрее, чем обычные поезда на колесах.

ЗАЩИТНОЕ СИЛОВОЕ ПОЛЕ

Но устройства на магнитной подвеске чрезвычайно дороги. Один из путей к увеличению их эффективности — использование сверхпроводников, которые при охлаждении до температур, близких к абсолютному нулю, полностью теряют электрическое сопротивление. Явление сверхпроводимости открыл в 1911 г. Хейке Камерлинг-Оннес. Суть его состояла в том, что некоторые вещества при охлаждении до температуры ниже 20 К (20° выше абсолютного нуля) теряют всякое электрическое сопротивление. Как правило, при охлаждении металла его электрическое сопротивление постепенно уменьшается. (Дело в том, что направленному движению электронов в проводнике мешают случайные колебания атомов. При уменьшении температуры размах случайных колебаний уменьшается, и электричество испытывает меньшее сопротивление.) Но Камерлинг-Оннес, к собственному изумлению, обнаружил, что сопротивление некоторых материалов при определенной критической температуре резко падает до нуля.

Физики сразу поняли важность полученного результата. При передаче на большие расстояния в линиях электропередачи теряется значительное количество электроэнергии. Но если бы сопротивление удалось устранить, электроэнергию можно было бы передавать в любое место почти даром. Вообще, возбужденный в замкнутом контуре электрический ток мог бы циркулировать в нем без потерь энергии миллионы лет. Более того, из этих необычайных токов несложно было бы создать магниты невероятной мощности. А имея такие магниты, можно было бы без усилий поднимать громадные грузы.

Несмотря на чудесные возможности сверхпроводников, применять их очень непросто. Держать большие магниты в баках с чрезвычайно холодными жидкостями очень дорого. Чтобы сохранять жидкости холодными, потребуются громадные фабрики холода, которые поднимут стоимость сверхпроводящих магнитов до заоблачных высот и сделают их использование невыгодным.

ФИЗИКА НЕВОЗМОЖНОГО

Но однажды физикам, возможно, удастся создать вещество, которое сохранит сверхпроводящие свойства даже при нагреве до комнатной температуры. Сверхпроводимость при комнатной температуре — «святой грааль» физиков-твёрдотельщиков. Получение таких веществ, по всей вероятности, послужит началом второй промышленной революции. Мощные магнитные поля, способные удерживать на весу машины и поезда, станут настолько дешевыми, что даже «планирующие автомобили», возможно, окажутся экономически выгодными. Очень может быть, что с изобретением сверхпроводников, сохраняющих свои свойства при комнатной температуре, фантастические летающие машины, которые мы видим в фильмах «Назад в будущее», «Особое мнение» и «Звездные войны», станут реальностью.

В принципе вполне представимо, что человек сможет надевать специальный пояс из сверхпроводящих магнитов, который позволит ему свободно левитировать над землей. С таким поясом можно было бы летать по воздуху, подобно Супермену. Вообще, сверхпроводимость при комнатной температуре явление настолько замечательное, что изобретение и использование таких сверхпроводников описано во множестве научно-фантастических романов (таких, как серия романов про Мир-Кольцо, созданная Ларри Нивеном в 1970 г.).

Десятки лет физики безуспешно искали вещества, которые обладали бы сверхпроводимостью при комнатной температуре. Это был утомительный скучный процесс — искали методом проб и ошибок, испытывая один материал за другим. Но в 1986 г. был открыт новый класс веществ, получивших название «высокотемпературные сверхпроводники»; эти вещества обрели сверхпроводимость при температурах порядка 90° выше абсолютного нуля, или 90 К. Это открытие стало настоящей сенсацией в мире физики. Казалось, распахнулись ворота шлюза. Месяц за месяцем физики соревновались друг с другом, стремясь установить новый мировой рекорд сверх-

ЗАЩИТНОЕ СИЛОВОЕ ПОЛЕ

проводимости. Какое-то время даже казалось, что сверхпроводимость при комнатной температуре вот-вот сойдет со страниц научно-фантастических романов и станет реальностью. Но после нескольких лет бурного развития исследования в области высокотемпературных сверхпроводников начали замедляться.

В настоящее время мировой рекорд для высокотемпературных сверхпроводников принадлежит веществу, представляющему собой сложный оксид меди, кальция, бария, таллия и ртути, которое становится сверхпроводящим при 138 К ($-135\text{ }^{\circ}\text{C}$). Эта относительно высокая температура все еще очень далека от комнатной. Но и это — важный рубеж. Азот становится жидким при температуре 77 К, а жидкий азот стоит примерно столько же, сколько обычное молоко. Поэтому для охлаждения высокотемпературных сверхпроводников можно использовать обычный жидкий азот, это недорого. (Разумеется, сверхпроводники, остающиеся таковыми и при комнатной температуре, совсем не требуют охлаждения.)

Неприятно другое. В настоящее время не существует теории, которая объясняла бы свойства высокотемпературных сверхпроводников. Более того, предприимчивого физика, который сумеет объяснить, как они работают, ждет Нобелевская премия. (В известных высокотемпературных сверхпроводниках атомы организованы в четко выраженные слои. Многие физики предполагают, что именно слоистость керамического материала дает возможность электронам свободно передвигаться внутри каждого слоя, создавая таким образом сверхпроводимость. Но как именно и почему это происходит — по-прежнему загадка.)

Недостаток знаний вынуждает физиков искать новые высокотемпературные сверхпроводники по старинке, методом проб и ошибок. Это означает, что пресловутая сверхпроводимость при комнатной температуре может быть открыта когда угодно — завтра, через год, или вообще никогда. Никто не знает,

ФИЗИКА НЕВОЗМОЖНОГО

когда будет найдено вещество с такими свойствами и будет ли оно найдено вообще.

Но если сверхпроводники при комнатной температуре будут открыты, их открытие, скорее всего, породит громадную волну новых изобретений и коммерческих приложений. Обычными, возможно, станут магнитные поля, в миллион раз более сильные, чем магнитное поле Земли (которое составляет 0,5 Гс).

Одно из свойств, присущих всем сверхпроводникам, носит название эффекта Мейснера. Если поместить магнит над сверхпроводником, магнит зависнет в воздухе, как будто поддерживаемый некоей невидимой силой. (Причина эффекта Мейснера заключается в том, что магнит обладает свойством создавать внутри сверхпроводника собственное «зеркальное отражение», так что настоящий магнит и его отражение начинают отталкиваться друг от друга. Еще одно наглядное объяснение этого эффекта — в том, что сверхпроводник непроницаем для магнитного поля. Он как бы выталкивает магнитное поле. Поэтому, если поместить магнит над сверхпроводником, силовые линии магнита при контакте со сверхпроводником искажутся. Эти силовые линии и будут выталкивать магнит вверх, заставляя его левитировать.)

Если человечество получит возможность использовать эффект Мейснера, то можно вообразить шоссе будущего с покрытием из такой специальной керамики. Тогда при помощи магнитов, размещенных у нас на поясе или на днище автомобиля, мы сможем волшебным образом парить над дорогой и нести к месту назначения без всякого трения или потерь энергии.

Эффект Мейснера работает только с магнитными материалами, такими как металлы. Но можно использовать сверхпроводниковые магниты и для левитирования немагнитных материалов, известных как парамагнетики или диамагнетики. Эти вещества сами по себе не обладают магнитными свойствами; они обретают их только в присутствии и под воздействием

ЗАЩИТНОЕ СИЛОВОЕ ПОЛЕ

внешнего магнитного поля. Парамагнетики притягиваются внешним магнитом, диамагнетики отталкиваются.

Вода, к примеру, диамагнетик. Поскольку все живые существа состоят из воды, они тоже могут левитировать в присутствии мощного магнитного поля. В поле с магнитной индукцией около 15 Т (в 30 000 раз более мощном, чем магнитное поле Земли) ученым уже удалось заставить левитировать небольших животных, таких как лягушки. Но если сверхпроводимость при комнатной температуре станет реальностью, можно будет поднимать в воздух и крупные немагнитные объекты, пользуясь их диамагнитными свойствами.

В заключение отметим, что силовые поля в том виде, в каком их обычно описывает фантастическая литература, не согласуются с описанием четырех фундаментальных взаимодействий в нашей Вселенной. Но можно предположить, что человеку удастся имитировать многие свойства этих выдуманных полей при помощи многослойных щитов, включающих в себя плазменные окна, лазерные завесы, углеродные нанотрубки и вещества с переменной прозрачностью. Но реально такой щит может быть разработан лишь через несколько десятилетий, а то и через столетие. И в случае, если сверхпроводимость при комнатной температуре будет обнаружена, у человечества появится возможность использовать мощные магнитные поля; возможно, с их помощью удастся поднять в воздух автомобили и поезда, как мы видим в фантастических фильмах.

Принимая все это во внимание, я бы отнес силовые поля к I классу невозможности, т. е. определил их как нечто невозможное для сегодняшних технологий, но реализуемое в модифицированной форме в течение ближайшего столетия или около того.

2. НЕВИДИМОСТЬ

Нельзя полагаться на глаза, если расфокусировано воображение.

Марк Твен

В сериале «Звездный путь IV: Путешествие домой» экипаж «Энтерпрайза» захватывает боевой крейсер клингонов. В отличие от кораблей Звездного флота Федерации, корабли Клингонской империи оборудованы секретным «маскирующим устройством», способным сделать их невидимыми для глаза и радара. Это устройство позволяет клингонским кораблям заходить незамеченными в хвост кораблям Федерации и безнаказанно наносить первый удар. Благодаря маскирующему устройству Клингонская империя имеет перед Федерацией планет стратегическое преимущество.

Возможно ли на самом деле такое устройство? Невидимость давно стала одним из привычных чудес научно-фантастических и фэнтезийных произведений — от «Человека-невидимки» до волшебного плаща-невидимки Гарри Поттера или кольца из «Властелина колец». Тем не менее на протяжении по крайней мере ста лет физики дружно отрицали возможность создания плащей-невидимок и однозначно заявляли, что это невозможно: плащи-де нарушают законы оптики и не согласуются ни с одним из известных свойств вещества.

Но сегодня невозможное может стать возможным. Достижения в области «метаматериалов» заставляют в значительной

НЕВИДИМОСТЬ

мере пересмотреть учебники оптики. Созданные в лаборатории рабочие образцы таких материалов вызывают живой интерес средств массовой информации, производителей и военных; всем интересно, как видимое сделать невидимым.

Невидимость в истории

Невидимость, возможно, одна из самых старых концепций древней мифологии. С начала времен человек, оставшись один в пугающей тишине ночи, чувствовал присутствие невидимых существ и боялся их. Повсюду вокруг него во тьме таились духи мертвых — души тех, кто ушел до него. Греческий герой Персей, вооружившись шлемом-невидимкой, сумел убить злобную горгону Медузу. Генералы всех времен мечтали о маскирующем устройстве, которое позволило бы стать невидимым для врага. Пользуясь невидимостью, можно было бы легко проникнуть за линию обороны противника и застать его врасплох. Преступники могли бы использовать невидимость для совершения дерзких ограблений.

В теории этики и морали Платона невидимость играла главную роль. В своем философском труде «Государство» Платон поведал нам миф о кольце Гига. В этом мифе бедный, но честный пастух Гиг из Лидии проникает в тайную пещеру и находит там гробницу; у трупа на пальце он видит золотое кольцо. Далее Гиг обнаруживает, что кольцо обладает волшебной силой и может делать его невидимым. Бедный пастух буквально пьянеет от власти, которую дало ему кольцо. Пробравшись в царский дворец, Гиг при помощи кольца соблазняет царицу, затем с ее помощью убивает царя и становится следующим царем Лидии.

Мораль, которую Платон вывел из этой истории, состоит в том, что ни один человек не в состоянии устоять перед искушением брать чужое и убивать безнаказанно. Люди слабы, а мораль — социальное явление, которое необходимо насаждать и поддерживать извне. На публике человек может соблю-

дать нормы морали, чтобы выглядеть порядочным и честным и поддерживать собственную репутацию, но стоит дать ему возможность становиться невидимым, и он не сможет удержаться и непременно воспользуется своим новым могуществом. (Некоторые считают, что именно эта притча о морали вдохновила Дж.Р.Р. Толкина на создание трилогии «Властелин колец»; кольцо, делающее своего владельца невидимым, одновременно является источником зла.)

В научной фантастике невидимость — один из обычных движителей сюжета. В серии комиксов 1930-х гг. «Флэш Гордон» Флэш становится невидимым, чтобы скрыться от расстрельной команды негодяя Минга Безжалостного. В романах и фильмах о Гарри Поттере главный герой, накинув волшебный плащ, может незамеченным бродить по Хогвартскому замку.

Герберт Уэллс в классическом романе «Человек-невидимка» воплотил в конкретную форму примерно те же идеи. В этом романе студент-медик случайно открывает возможности четвертого измерения и становится невидимым. К несчастью, он использует полученные фантастические возможности в личных целях, совершает целую череду мелких преступлений и в конце концов погибает в отчаянной попытке уйти от полиции.

Уравнения Максвелла и тайна света

Физики получили сколько-нибудь четкое представление о законах оптики относительно недавно в результате работ шотландца Джеймса Клерка Максвелла, одного из гигантов физики XIX в. В определенном смысле Максвелл был полной противоположностью Фарадею. Если Фарадей обладал великолепным чутьем экспериментатора, но не имел никакого формального образования, то его современник Максвелл был магистром высшей математики. Он с отличием прошел обучение по курсу математической физики в Кембридже, где за два столетия до него работал Исаак Ньютон.

НЕВИДИМОСТЬ

Ньютон придумал дифференциальное исчисление — оно описывает на языке дифференциальных уравнений, как объекты непрерывно претерпевают бесконечно малые изменения во времени и пространстве. Движение океанских волн, жидкостей, газов и пушечных ядер — все это может быть описано на языке дифференциальных уравнений. Максвелл начал работать, перед собой ясную цель: выразить революционные открытия Фарадея и его физические поля при помощи точных дифференциальных уравнений.

Максвелл начал с утверждения Фарадея о том, что электрические поля могут превращаться в магнитные и наоборот. Он взял нарисованные Фарадеем картины физических полей и записал их на точном языке дифференциальных уравнений. В результате была получена одна из важнейших в современной науке систем уравнений. Это система из восьми дифференциальных уравнений довольно жуткого вида. Каждому физику и инженеру в мире пришлось в свое время попотеть над ними, осваивая в институте электромагнетизм.

Далее Максвелл задал себе судьбоносный вопрос: если магнитное поле может превращаться в электрическое и наоборот, то что происходит, если они постоянно переходят одно в другое в бесконечной череде превращений? Максвелл обнаружил, что такое электромагнитное поле породит волну, подобную океанской. Он вычислил скорость движения таких волн и, к собственному изумлению, обнаружил, что она равняется скорости света! В 1864 г., обнаружив данный факт, он пророчески написал: «Эта скорость настолько близка к скорости света, что мы, по всей видимости, имеем все основания сделать вывод о том, что сам свет... представляет собой электромагнитное возмущение».

Это открытие стало, возможно, одним из величайших в истории человечества — была наконец раскрыта тайна света! Максвелл внезапно понял, что все — и сияние летнего восхода, и яростные лучи заходящего солнца, и ослепительные цвета ра-

ФИЗИКА НЕВОЗМОЖНОГО

дуги, и звезды на ночном небосклоне — можно описать при помощи волн, которые он небрежно изобразил на клочке бумаги. Сегодня мы понимаем, что весь электромагнитный спектр: сигналы радаров, микроволновое излучение и телевизионные волны, инфракрасный, видимый и ультрафиолетовый свет, рентгеновские и гамма-лучи — это не что иное, как максвелловы волны; а те, в свою очередь, представляют собой вибрации фарадеевых физических полей.

Говоря о значении уравнений Максвелла, Эйнштейн писал, что это «самое глубокое и плодотворное, что довелось испытать физике со времен Ньютона».

(Трагично, но Максвелл, один из величайших физиков XIX столетия, умер достаточно молодым, в возрасте 48 лет, от рака желудка — вероятно, той же болезни, что убила его мать в этом же возрасте. Проживи он дольше, и возможно, ему удалось бы обнаружить, что полученные им уравнения допускают искажения пространства-времени, и это привело бы прямо к теории относительности Эйнштейна. Мысль о том, что проживи Максвелл дольше, и теория относительности могла бы появиться во времена Гражданской войны в Америке, потрясает до глубины души.)

Максвеллова теория света и атомная теория строения вещества дают оптике и невидимости простое объяснение. В твердом теле атомы плотно упакованы, тогда как в жидкости или газе расстояния между молекулами гораздо больше. Большинство твердых тел непрозрачны, так как лучи света не могут пройти через плотный строй атомов, который играет роль кирпичной стены. Многие жидкости и газы, напротив, прозрачны, потому что свету проще пройти между редкими атомами, расстояния между которыми больше, чем длина волны видимого света. К примеру, вода, спирт, аммиак, ацетон, перекись водорода, бензин и другие жидкости прозрачны, как прозрачны и газы, такие как кислород, водород, азот, углекислый газ, метан и т. п.

НЕВИДИМОСТЬ

Из этого правила существует несколько важных исключений. Многие кристаллы одновременно твердые и прозрачные. Но атомы в кристалле располагаются в узлах правильной пространственной решетки и образуют регулярные ряды с одинаковыми интервалами между ними. В результате в кристаллической решетке всегда много путей, по которым луч света может пройти сквозь нее. Поэтому, хотя атомы в кристалле упакованы не менее плотно, чем в любом другом твердом теле, свет все же способен проникать сквозь него.

При определенных обстоятельствах даже твердый объект со случайно расположенными атомами может стать прозрачным. Такого эффекта для некоторых материалов можно добиться, если нагреть объект до высокой температуры, а затем резко охладить. К примеру, стекло — твердое тело, обладающее из-за случайного расположения атомов многими свойствами жидкости. Некоторые леденцы тоже можно таким образом сделать прозрачными.

Очевидно, свойство невидимости возникает на атомном уровне, согласно уравнениям Максвелла, и потому его чрезвычайно трудно, если вообще возможно, воспроизвести обычными методами. Чтобы сделать Гарри Поттера невидимым, его придется перевести в жидкое состояние, вскипятить и превратить в пар, кристаллизовать, нагреть и охладить — согласитесь, любое из этих действий было бы весьма затруднительным даже для волшебника.

Военные, оказавшись не в состоянии построить невидимые самолеты, попытались проделать более простую вещь: создали технологию «стелс», которая делает самолеты невидимыми для радаров. Технология «стелс», опираясь на уравнения Максвелла, прodelывает серию фокусов. Реактивный истребитель «стелс» легко увидеть невооруженным глазом, зато на экране вражеского радара его изображение по размеру примерно соответствует крупной птице. (На самом деле технология «стелс» представляет собой сочетание нескольких совершенно разных

фокусов. По возможности материалы конструкции истребителя заменяются на прозрачные для радара: вместо стали используются различные пластики и смолы; изменяются углы фюзеляжа; меняется конструкция сопла двигателя и т. д. В результате всех этих ухищрений можно заставить радарный луч противника, попавший в самолет, рассеиваться во всех направлениях и не возвращаться в приемное устройство. Но даже с применением этой технологии истребитель не становится совершенно невидимым; просто его корпус отклоняет и рассеивает радарный луч настолько, насколько это технически возможно.)

Метаматериалы и невидимость

Возможно, самым многообещающим в плане невидимости из недавних достижений является экзотический новый материал, известный как «метаматериал»; не исключено, что когда-нибудь он сделает объекты на самом деле невидимыми. Забавно, но когда-то существование метаматериалов также считалось невозможным, поскольку они нарушают законы оптики. Но в 2006 г. исследователи из Университета Дьюка в Дарэме (штат Северная Каролина) и Имперского колледжа в Лондоне успешно опровергли это общепринятое мнение и при помощи метаматериалов сделали объект невидимым для микроволнового излучения. Препятствий на этом пути пока хватает, но впервые в истории у человечества появилась методика, позволяющая делать обычные объекты невидимыми. (Финансировало эти исследования DARPA — Агентство перспективных исследовательских проектов Минобороны США.)

Натан Мирволд, бывший главный технолог фирмы Microsoft, утверждает, что революционные возможности метаматериалов «полностью изменят наш подход к оптике и к почти всем аспектам электроники... Некоторые из метаматериалов способны на такие подвиги, которые несколько десятилетий назад показалось бы чудом».

НЕВИДИМОСТЬ

Что представляют собой метаматериалы? Это вещества, обладающие несуществующими в природе оптическими свойствами. При создании метаматериалов в вещество внедряются крошечные имплантаты, которые вынуждают электромагнитные волны выбирать нестандартные пути. В Университете Дьюка ученые внедрились в медные ленты, уложенные плоскими концентрическими кругами (все это немного напоминает по конструкции конфорку электроплитки), множество крошечных электрических контуров. Результатом стала сложная структура из керамики, тефлона, композитных волокон и металлических компонентов. Крошечные имплантаты, присутствующие в меди, дают возможность отклонять микроволновое излучение и направлять его по заданному пути. Представьте себе, как река обтекает валун. Вода очень быстро оборачивается вокруг камня, поэтому ниже по течению его присутствие никак не сказывается и выявить его невозможно. Точно так же метаматериалы способны непрерывно изменять маршрут микроволн таким образом, чтобы они обтекали, скажем, некий цилиндр и тем самым делали все внутри этого цилиндра невидимым для радиоволн. Если метаматериал сможет к тому же устранить все отражения и тени, то объект станет полностью невидимым для этой формы излучения.

Ученые успешно продемонстрировали этот принцип при помощи устройства, состоящего из десяти колец из стекловолокна, покрытых медными элементами. Медное кольцо внутри устройства было почти невидимым для микроволнового излучения; оно лишь отбрасывало слабую тень.

Необычные свойства метаматериалов базируются на их способности управлять параметром, известным как «показатель преломления». Преломление — свойство света менять направление распространения при прохождении через прозрачный материал. Если опустить руку в воду или просто посмотреть через линзы очков, можно заметить, что вода и стекло отклоняют и искажают ход лучей обычного света.

ФИЗИКА НЕВОЗМОЖНОГО

Причина отклонения светового луча в стекле или воде состоит в том, что при входе в плотный прозрачный материал свет замедляется. Скорость света в идеальном вакууме постоянна, но в стекле или воде свет «протискивается» через скопление триллионов атомов и потому замедляется. (Отношение скорости света в вакууме к скорости света в среде называется показателем преломления. Поскольку свет в любой среде замедляется, показатель преломления всегда больше единицы.) К примеру, показатель преломления для вакуума составляет 1,00; для воздуха — 1,0003; для стекла — 1,5; для бриллианта — 2,4. Как правило, чем плотнее среда, тем сильнее она отклоняет луч света и тем больше, соответственно, показатель преломления.

Очень наглядной демонстрацией явлений, связанных с преломлением, могут послужить миражи. Если вы, проезжая по шоссе в жаркий день, будете смотреть прямо вперед, на горизонт, то дорога местами покажется вам мерцающей и создаст иллюзию сверкающей водной глади. В пустыне иногда можно увидеть на горизонте очертания далеких городов и гор. Происходит это потому, что нагретый над дорожным полотном или песком пустыни воздух имеет более низкую плотность и, соответственно, более низкий показатель преломления, чем окружающий его обычный, более прохладный воздух; поэтому свет от удаленных объектов может испытать преломление в нагретом слое воздуха и попасть после этого в глаз; при этом у вас возникает иллюзия того, что вы действительно видите удаленные объекты.

Как правило, показатель преломления — величина постоянная. Узкий луч света, проникая в стекло, меняет направление, а затем продолжает двигаться по прямой. Но предположим на мгновение, что мы в состоянии управлять показателем преломления, так чтобы в каждой точке стекла он мог постоянно изменяться заданным образом. Свет, двигаясь в таком новом материале, мог бы произвольным образом менять направление; путь луча в этой среде извивался бы, подобно змее.

НЕВИДИМОСТЬ

Если бы можно было управлять показателем преломления в метаматериале так, чтобы свет огибал некий объект, то объект этот станет невидимым. Для получения такого эффекта показатель преломления в метаматериале должен быть отрицательным, но в любом учебнике оптики сказано, что это невозможно.

(Впервые метаматериалы были теоретически предсказаны в работе советского физика Виктора Веселаго в 1967 г. Именно Веселаго показал, что эти материалы должны обладать такими необычными оптическими свойствами, как отрицательный показатель преломления и обратный эффект Доплера. Метаматериалы представляются настолько странными и даже нелепыми, что первое время их практическая реализация считалась попросту невозможной. Однако в последние несколько лет метаматериалы были-таки получены в лаборатории, что вынудило физиков заняться переписыванием учебников по оптике.)

Исследователям, которые занимаются метаматериалами, постоянно докучают журналисты с вопросом: когда на рынке появятся наконец плащи-невидимки? Ответ можно сформулировать очень просто: не скоро.

Дэвид Смит из Университета Дьюка рассказывает: «Репортеры звонят и умоляют хотя бы назвать срок. Через сколько месяцев или, скажем, лет это произойдет. Они давят, давят и давят, и ты в конце концов не выдерживаешь и говоришь, что лет, может, через пятнадцать. И тут же — газетный заголовок, да? Пятнадцать лет до плаща Гарри Поттера». Вот почему он теперь отказывается называть какие бы то ни было сроки.

Поклонникам Гарри Поттера или «Звездного пути», скорее всего, придется подождать. Хотя настоящий плащ-невидимка уже не противоречит известным законам природы — а с этим в настоящий момент соглашается большинство физиков, — ученым предстоит преодолеть еще много сложных технических препятствий, прежде чем эту технологию можно будет распро-

странить на работу с видимым светом, а не только с микроволновым излучением.

В общем случае размеры внутренних структур, внедренных в метаматериал, должны быть меньше длины волны излучения. К примеру, микроволны могут иметь длину волны порядка 3 см, поэтому если мы хотим, чтобы метаматериал искривлял путь микроволн, мы должны внедрить в него имплантаты размером меньше 3 см. Но чтобы сделать объект невидимым для зеленого света (с длиной волны 500 нм), метаматериал должен иметь внедренные структуры длиной всего около 50 нм. Но нанометры — это уже атомный масштаб, для работы с такими размерами требуются нанотехнологии. (Нанометр — это одна миллиардная часть метра. В одном нанометре может уместиться примерно пять атомов.) Возможно, это ключевая проблема, с которой нам придется столкнуться при создании настоящего плаща-невидимки. Чтобы произвольно искривлять, подобно змее, путь светового луча, нам пришлось бы модифицировать отдельные атомы внутри метаматериала.

Метаматериалы для видимого света

Итак, гонка началась.

Сразу же после объявления о получении в лаборатории первых метаматериалов в этой области началась лихорадочная активность. Каждые несколько месяцев мы слышим о революционных догадках и поразительных прорывах. Цель ясна: создать при помощи нанотехнологий метаматериалы, способные искривлять не только микроволны, но и видимый свет. Уже предложены несколько подходов, и все они представляются достаточно перспективными.

Одно из предложений заключается в том, чтобы использовать готовые методы, т. е. позаимствовать для производства метаматериалов отработанные технологии микроэлектронной промышленности. К примеру, в основе миниатюризации

НЕВИДИМОСТЬ

компьютеров лежит технология «фотолитографии»; она же служит двигателем компьютерной революции. Эта технология позволяет инженерам размещать на кремниевой подложке размером с ноготь большого пальца сотни миллионов крохотных транзисторов.

Мощность компьютеров удваивается каждые 18 месяцев (эту закономерность называют законом Мура). Происходит это благодаря тому, что ученые при помощи ультрафиолетового излучения «вытравливают» на кремниевых чипах все более и более крохотные компоненты. Эта технология очень напоминает процесс, при помощи которого наносят по трафарету рисунок на цветастую футболку. (Инженеры-компьютерщики начинают с тонкой подложки, на которую сверху накладываются тончайшие слои различных материалов. Затем подложка накрывается пластиковой маской, работающей как шаблон. На маску заранее наносится сложный рисунок проводников, транзисторов и компьютерных компонентов, составляющих основу принципиальной схемы. Заготовку облучают жестким ультрафиолетом, т. е. подвергают действию ультрафиолетового излучения с очень малой длиной волны; это излучение как бы переносит рисунок матрицы на светочувствительную подложку. Затем заготовку обрабатывают специальными газами и кислотами, и сложная схема матрицы вытравливается на подложке в тех местах, где она подвергалась действию ультрафиолетового излучения. В результате этого процесса получается пластинка с сотнями миллионов крошечных углублений, которые и образуют контуры транзисторов.) В настоящее время самые мелкие компоненты, которые удается создать при помощи описанного процесса, имеют размер около 30 нм (или примерно 150 атомов).

Заметной вехой на пути к невидимости стал недавний эксперимент группы ученых из Германии и Министерства энергетики США, в котором процесс травления кремниевой подложки удалось использовать для изготовления первого

ФИЗИКА НЕВОЗМОЖНОГО

метаматериала, способного работать в видимом диапазоне света. В начале 2007 г. ученые объявили, что созданный ими метаматериал оказывает воздействие на красный свет. «Невозможное» было реализовано в удивительно короткие сроки.

Физик Костас Сукулис из Лаборатории Эймса и Университета штата Айова вместе со Стефаном Линденом, Мартином Вегенером и Гуннаром Доллингом из Университета Карлсруэ в Германии сумели создать метаматериал с показателем преломления $-0,6$ для красного света с длиной волны 780 нм. (До этого мировой рекорд длины волны излучения, которое удалось «завернуть» при помощи метаматериала, составлял 1400 нм; это уже не видимый, а инфракрасный свет.)

Для начала ученые взяли лист стекла и нанесли на него тонкий слой серебра, затем слой фторида магния, затем снова слой серебра; таким образом, был получен «сэндвич» с фторидом толщиной всего 100 нм. После этого ученые при помощи стандартной технологии травления проделали в этом «сэндвиче» множество крохотных квадратных отверстий (шириной всего 100 нм, гораздо меньше длины волны красного света); в результате получилась решетчатая структура, напоминающая рыбацкую сеть. Затем они пропустили через полученный материал луч красного света и измерили показатель преломления, который составил $-0,6$.

Авторы предвидят, что изобретенная ими технология найдет широкое применение. Метаматериалы «могут когда-нибудь привести к созданию своего рода плоской суперлинзы, работающей в видимой части спектра, — говорит д-р Сукулис. — Такая линза позволит получать более высокое разрешение по сравнению с традиционной технологией и различать детали, значительно уступающие по размерам длине световой волны». Очевидно, одним из первых приложений «суперлинзы» станет фотографирование микроскопических объектов с беспрецедентной четкостью; речь может идти о фотографировании внутри живой человеческой клетки или о диагностике

НЕВИДИМОСТЬ

заболеваний плода в чреве матери. В идеале появится возможность сфотографировать компоненты молекулы ДНК непосредственно, без применения грубых методов рентгеновской кристаллографии.

Пока ученым удалось продемонстрировать отрицательный показатель преломления только для красного света. Но метод надо развивать, и следующим шагом должно стать создание метаматериала, который мог бы полностью обвести красный луч вокруг объекта, сделав его невидимым для красного света.

Дальнейшее развитие можно ожидать также в области «фотонных кристаллов». Цель технологии фотонных кристаллов — создать чип, который использовал бы для обработки информации свет, а не электричество. Предполагается применить нанотехнологии для вытравливания на подложке крошечных компонентов — так, чтобы с каждым компонентом изменялся показатель преломления. Транзисторы, в которых работает свет, имеют немало преимуществ перед электронными. К примеру, в фотонных кристаллах значительно меньше тепловые потери. (В сложных кремниевых чипах выделяется столько тепла, что хватило бы поджарить яичницу. Чтобы такие чипы не отказывали, их необходимо непрерывно охлаждать, а это очень дорого.)

Нет ничего удивительного в том, что технология получения фотонных кристаллов должна идеально подойти для метаматериалов, — ведь обе технологии предполагают манипулирование показателем преломления света на наноуровне.

Невидимость через плазмонику

Не желая отставать от соперников, другая группа физиков объявила в середине 2007 г. о создании метаматериала, способного повернуть видимый свет, на базе совершенно иной технологии, получившей название «плазмоника». Физики Анри Лезек, Дженнифер Дионн и Гарри Этуотер из Калифорнийского тех-

нологического института объявили о создании метаматериала, обладающего отрицательным показателем преломления для более сложной сине-зеленой области видимого спектра.

Цель плазмоники — таким образом «сжать» свет, чтобы можно было манипулировать объектами в наномасштабе, особенно на поверхности металлов. Причина электропроводности металлов кроется в том, что электроны в атомах металлов слабо связаны с ядром и могут свободно передвигаться вдоль поверхности металлической решетки. Электричество, идущее по проводам у вас дома, представляет собой плавный поток этих слабо связанных электронов по металлической поверхности. Но при определенных условиях, когда луч света сталкивается с металлической поверхностью, электроны могут завибрировать в унисон со светом. При этом на поверхности металла возникают волнообразные движения электронов (эти волны называют плазмонами) в такт с колебаниями электромагнитного поля над металлом. Что еще важнее, эти плазмоны можно «сжать» — при этом они будут иметь ту же частоту, что и первоначальный световой луч (а значит, будут нести ту же информацию), но значительно меньшую длину волны. В принципе затем эти сжатые волны можно втиснуть в нанопроводники. Как и в случае фотонных кристаллов, конечная цель плазмоники — создание компьютерных чипов, в которых работает не электричество, а свет.

Группа из Калифорнийского технологического построила свой метаматериал из двух слоев серебра и азотно-кремниевое изолирующего слоя (толщиной всего 50 нм) между ними. Этот слой действует как «волновод», способный направить плазмонные волны в нужную сторону. Через щель, прорезанную в метаматериале, в устройство проникает лазерный луч; он проходит по волноводу, а затем выходит через вторую щель. Если проанализировать углы, на которые изгибается лазерный луч при прохождении через метаматериал, можно установить, что материал обладает отрицательным показателем преломления для света с данной длиной волны.

Будущее метаматериалов

Продвижение в исследовании метаматериалов в будущем будет ускоряться по той простой причине, что уже сейчас интерес к созданию транзисторов, которые работали бы на световом луче вместо электричества, очень велик. Поэтому можно предположить, что исследования в области невидимости смогут «подъехать на попутке», т. е. воспользоваться результатами уже идущих исследований по созданию замены кремниевому чипу при помощи фотонных кристаллов и плазмоники. Уже сегодня в разработку технологии, призванной заменить кремниевые чипы, вкладываются сотни миллионов долларов, а попутно выиграют и исследования в области метаматериалов.

В настоящее время новые серьезные открытия в этой области совершаются каждые несколько месяцев, поэтому не удивительно, что некоторые физики ожидают появления в лаборатории первых образцов реального щита невидимости уже через несколько десятилетий. Так, ученые уверены в том, что сумеют в ближайшие несколько лет создать метаматериалы, способные сделать объект полностью невидимым, по крайней мере в двух измерениях, для видимого света любой конкретной частоты. Чтобы добиться такого эффекта, необходимо будет внедрить в метаматериал крошечные наноимплантаты не правильными рядами, а по сложному рисунку, так чтобы в результате свет плавно огибал скрываемый объект.

Далее ученым придется изобрести и создать метаматериалы, способные изгибать свет в трех измерениях, а не только на плоских двумерных поверхностях. Фотолитография — отработанная технология для получения плоских кремниевых схем; создание же трехмерных метаматериалов потребует как минимум сложной компоновки нескольких плоских схем.

После этого ученым придется решить проблему создания метаматериалов, изгибающих свет не одной частоты, а нескольких — или, скажем, полосы частот. Это, возможно, ока-

ФИЗИКА НЕВОЗМОЖНОГО

жется самой сложной задачей, потому что все разработанные до сих пор крошечные имплантаты отклоняют свет только одной точно заданной частоты. Возможно, ученым придется заняться многослойными метаматериалами, где каждый слой будет действовать на одну конкретную частоту. Пока не ясно, каким будет решение этой проблемы.

Но щит невидимости, даже будучи наконец создан в лаборатории, может оказаться совсем не таким, как нам хочется, скорее всего, это будет тяжелое и неповоротливое устройство. Плащ Гарри Поттера был сшит из тонкой мягкой ткани и при этом делал любого, кто завернется в него, невидимым. Но чтобы такой эффект был возможен, показатель преломления внутри ткани должен постоянно меняться сложным образом в соответствии с колебаниями ткани и движениями человека. Это непрактично. Скорее всего, плащ-невидимка, по крайней мере поначалу, будет представлять собой твердый цилиндр из метаматериала. В этом случае показатель преломления внутри цилиндра можно будет сделать постоянным. (В более продвинутых моделях со временем могут появиться гибкие метаматериалы, способные изгибаться и при этом удерживать свет внутри себя на правильном пути. Тогда тот, кто будет находиться внутри «плаща», получит некоторую свободу движений.)

У щита невидимости есть один недостаток, на который уже неоднократно указывали: тот, кто находится внутри, не сможет выглянуть наружу, не став при этом видимым. Представьте себе Гарри Поттера, у которого видимыми остались только глаза; при этом они как бы плывут по воздуху на соответствующей высоте. Любые отверстия для глаз в плаще-невидимке были бы отчетливо видны снаружи. Если же сделать Гарри Поттера совершенно невидимым, то ему придется сидеть под своим плащом слепо и в полной темноте. (Одним из возможных решений этой проблемы могут стать два маленьких стеклышка перед глазами. Эти стеклышки будут работать как «расщепители луча»; они отщипывали бы и направляли в глаза небольшую

НЕВИДИМОСТЬ

часть падающего на них света. При этом бóльшая часть света, падающего на плащ, шла бы в обход, делая человека внутри невидимым, но некоторая, очень небольшая, его часть отделялась бы и попадала в глаза.)

Бесспорно, препятствия на пути к невидимости очень серьезны, но ученые и инженеры настроены оптимистично и считают, что щит невидимости того или иного рода может быть создан в течение нескольких ближайших десятилетий.

Невидимость и нанотехнологии

Как я уже упоминал, ключом к невидимости может стать развитие нанотехнологий, т. е. способности манипулировать структурами атомных (около одной миллиардной части метра в поперечнике) размеров.

Моментом зарождения нанотехнологий называют знаменитую лекцию с ироничным названием «На дне полным-полно места», которую прочитал нобелевский лауреат Ричард Фейнман перед Американским физическим обществом в 1959 г. В этой лекции он рассуждал о том, как могут выглядеть самые крохотные машины в соответствии с известными нам законами физики. Фейнман понимал, что размеры машин будут становиться все меньше и меньше, пока не приблизятся к размерам атома, а затем для создания новых машин можно будет использовать сами атомы. Он сделал вывод о том, что простейшие атомные машины вроде блока, рычага или колеса ничем не противоречат законам физики, но изготовить их будет чрезвычайно трудно.

Много лет нанотехнологии прозябали в забвении — просто потому, что технологии того времени не позволяли манипулировать отдельными атомами. Но в 1981 г. произошел прорыв — физики Герд Бинниг и Генрих Рорер из лаборатории IBM в Цюрихе изобрели сканирующий туннельный микроскоп, который позже принес им Нобелевскую премию по физике.

ФИЗИКА НЕВОЗМОЖНОГО

Ученые внезапно получили возможность получать поразительные «картинки» отдельных атомов, объединенных в структуры — в точности такие, какие изображают обычно в книгах по химии; когда-то критики атомной теории считали это невозможным. Теперь же можно было получить великолепные фотографии атомов, выстроенных рядами в правильной структуре кристалла или металла. Химические формулы, при помощи которых ученые пытались отразить сложную структуру молекулы, теперь можно было увидеть невооруженным взглядом. Более того, сканирующий туннельный микроскоп дал возможность манипулировать отдельными атомами. Первооткрыватели выложили из отдельных атомов буквы IBM, чем произвели в научном мире настоящую сенсацию. Ученые перестали быть слепцами в мире отдельных атомов; они получили возможность видеть атомы и работать с ними.

Принцип действия сканирующего туннельного микроскопа обманчиво прост. Подобно тому как граммафон сканирует диск иглой, этот микроскоп медленно проводит острый щуп над исследуемым веществом. (Кончик этого щупа такой острый, что заканчивается единичным атомом.) Щуп несет на себе слабый электрический заряд; с его конца через исследуемый материал к проводящей поверхности под ним течет электрический ток. При прохождении щупа над каждым отдельным атомом ток слегка меняется; изменения тока тщательно регистрируются. Подъемы и падения тока при прохождении иглы над атомом очень точно и детально отражают его очертания. Обработав и представив в графической форме данные о флуктуациях тока за большое количество проходов, можно получить красивую картинку отдельных атомов, образующих пространственную решетку.

(Сканирующий туннельный микроскоп может существовать благодаря одному странному закону квантовой физики. Обычно электроны не обладают достаточной энергией, чтобы пройти с кончика щупа к подложке через слой вещества.

НЕВИДИМОСТЬ

Но существует — согласно принципу неопределенности — небольшая вероятность того, что электроны «туннелируют», т. е. проникнут через барьер, хотя это и противоречит ньютоновской теории. Именно поэтому ток, проходящий через материал, так чувствителен к тонким квантовым эффектам в нем. Позже я остановлюсь на следствиях квантовой теории более подробно.)

Кроме того, щуп микроскопа достаточно чувствителен, чтобы передвигать отдельные атомы и сооружать из них простейшие «машины». В настоящий момент эта технология настолько развита, что можно видеть группу атомов на экране компьютера и простым движением курсора передвигать отдельные атомы произвольным образом. Можно манипулировать десятками атомов так же легко, как кирпичиками конструктора «Лего». Можно не только выкладывать из атомов буквы, но и создавать игрушки, такие как, например, счеты, где костяшки собраны из единичных атомов. Для этого атомы раскладывают на поверхности, снабженной вертикальными пазами. В пазы вставляют сферические фуллерены («футбольные мячики», составленные из отдельных атомов углерода). Эти углеродные шарики и служат костяшками атомных счетов, двигаясь вверх и вниз по своим пазам.

Можно также вырезать атомные устройства при помощи электронных лучей. К примеру, ученые из Корнеллского университета вырезали из кристаллического кремния самую маленькую в мире гитару, размер которой в 20 раз меньше толщины человеческого волоса. Гитара имеет шесть струн толщиной в сотню атомов каждая, которые можно дергать при помощи атомного силового микроскопа. (При этом гитара действительно будет играть музыку, но частоты, которые она производит, находятся далеко за пределами слышимости человеческого уха.)

В настоящее время практически все «наномашинки» представляют собой всего лишь игрушки. Более сложные машины

с передачами и подшипниками еще только предстоит создать. Но многие инженеры уверены, что время реальных атомных машин уже на подходе. (В природе такие машины существуют. Одноклеточные организмы способны свободно плавать в воде благодаря движениям крохотных волосков. Но если рассмотреть внимательно соединение между волоском и клеткой, становится понятно, что именно атомная машина позволяет волоску произвольно двигаться во всех направлениях. Поэтому один из путей развития нанотехнологий — это копирование природы, которая освоила производство атомных машин миллиарды лет назад.)

Голограммы и невидимость

Еще один способ сделать человека отчасти невидимым — это фотографировать вид позади него и затем спроектировать это изображение непосредственно на одежду человека или на некий экран перед ним. Если посмотреть спереди, то покажется, что человек стал прозрачным и свет каким-то образом проходит сквозь его тело.

Этим процессом, известным под названием «оптической маскировки», серьезно занимался, в частности, Наоки Каваками из Лаборатории Тати Токийского университета. Он говорит: «Эту технологию можно было бы использовать, чтобы помочь пилотам увидеть посадочную полосу сквозь пол кабины или водителям осмотреться как следует вокруг при парковке автомобиля». «Плащ» Каваками покрыт крошечными светотражающими бусинками, работающими подобно киноэкрану. То, что происходит сзади, снимается на видеокамеру. Затем это изображение поступает в видеопроектор, который, в свою очередь, проецирует его на плащ спереди. Создается впечатление, что свет пронизывает человека насквозь.

Прототипы плащей с системой оптической маскировки уже созданы в лаборатории. Если посмотреть точно спереди

НЕВИДИМОСТЬ

на человека в таком плаще, кажется, что он исчезает, потому что видите вы при этом только изображение того, что происходит позади. Но если вы, а вместе с вами и ваши глаза, немного сдвинетесь, а изображение на плаще при этом останется прежним, станет понятно, что это всего лишь обман. В системе более реалистичной оптической маскировки необходимо будет создавать иллюзию трехмерного изображения. Для этого потребуются голограммы.

Голограмма — это трехмерное изображение, созданное лазерами (вспомните трехмерное изображение принцессы Леи в «Звездных войнах»). Можно сделать человека невидимым, если сфотографировать фон за ним при помощи специальной голографической камеры и воссоздать его затем на специальном голографическом экране перед ним. Наблюдатель увидит перед собой голографический экран с изображением всего, что на самом деле находится впереди, за исключением человека. Выглядеть будет так, как будто человек просто пропал. На его месте окажется точное трехмерное изображение фона. Даже сдвинувшись с места, вы не сможете понять, что перед вами подделка.

Создание таких трехмерных изображений возможно благодаря «когерентности» лазерного света, т. е. тому факту, что электромагнитные колебания в нем происходят строго в унисон. Чтобы построить голограмму, когерентный лазерный луч расщепляют на две части. Одну половину направляют на фотопленку, другую — на эту же фотопленку, но уже после отражения от объекта. При интерференции двух половинок луча на пленке возникает интерференционная картина, которая содержит всю информацию об исходном трехмерном луче. Пленка после проявления выглядит не слишком многообещающе — на ней видна только паутина непонятных линий и завитков. Но если пропустить через эту пленку лазерный луч, в воздухе, словно по волшебству, возникает точная трехмерная копия объекта.

Тем не менее голографическая невидимость ставит перед исследователями очень серьезные проблемы. Одна из них —

ФИЗИКА НЕВОЗМОЖНОГО

создание голографической камеры, способной делать по крайней мере 30 снимков в секунду. Еще одна — хранение и обработка всей этой информации. Наконец, необходимо будет проецировать изображение на экран так, чтобы оно выглядело реалистично.

Невидимость через четвертое измерение

Следует упомянуть еще один, куда более хитрый способ становится невидимым, изложенный Гербертом Уэллсом в романе «Человек-невидимка». Этот способ предусматривает использование возможностей четвертого измерения. (Позже в этой книге я подробнее расскажу о возможном существовании высших измерений.) Может ли человек покинуть нашу трехмерную вселенную и парить над ней в четвертом измерении, наблюдая за происходящим со стороны? Подобно трехмерной бабочке, порхающей над двумерным листом бумаги, такой человек был бы невидим для любого обитателя вселенной внизу. Единственная проблема состоит в том, что существование высших измерений до сих пор не доказано. Более того, гипотетическое путешествие в одно из таких измерений потребовало бы намного больше энергии, чем имеется в нашем распоряжении в настоящий момент, при текущем уровне развития техники. Если говорить о реальных способах достижения невидимости, то этот метод, очевидно, лежит далеко за пределами наших сегодняшних знаний и возможностей.

Учитывая громадные успехи, достигнутые уже на пути к невидимости, мы, я думаю, можем смело классифицировать ее как невозможность I класса. Невидимость того или иного рода может стать обыденной уже в ближайшие несколько десятилетий, в крайнем случае к концу столетия.

3. ФАЗЕРЫ И ЗВЕЗДЫ СМЕРТИ

У радио нет будущего. Летательные аппараты тяжелее воздуха невозможны.
Скоро выяснится, что рентгеновские лучи — мистификация.

Лорд Кельвин, физик, 1899 г.

Эта [атомная] бомба никогда не взорвется. Я говорю это как специалист
по взрывчатым веществам.

Адмирал Уильям Лихи

Четыре... три... два... один... огонь!

Звезда смерти — это колоссальное оружие размером с хорошую луну. Выстрелив в упор в беззащитную планету Альдераан, родину принцессы Леи, Звезда смерти полностью уничтожает ее. Планета исчезает в пламени титанического взрыва, разбрасывая обломки по всей Солнечной системе. Миллиард душ одновременно вскрикивает в муке, вызывая тем самым возмущение Силы, которое чувствуется в любом месте галактики.

Но возможно ли в действительности оружие, подобное Звезде смерти из киноэпопеи «Звездные войны»? Можно ли так организовать и направить батарею лазерных пушек, чтобы в результате испарилась целая планета? А как насчет знаменитых световых мечей, которыми обладали Люк Скайуокер и Дарт Вейдер, представляющих собой луч света, но способных без труда разрубить бронированную сталь? Станут ли лучевые ружья, как фазеры в сериале «Звездный путь», подходящим оружием для будущих поколений сотрудников правопорядка и солдат?

ФИЗИКА НЕВОЗМОЖНОГО

Новые, оригинальные и поражающие воображение спецэффекты «Звездных войн» произвели неотразимое впечатление на миллионы зрителей, но у критиков сложилось иное мнение. Некоторые из них утверждали, что да, конечно, создатели фильма искренне старались развлечь зрителя, но на самом-то деле подобные вещи совершенно невозможны. Критики не уставали повторять как заклинание: лучевые пушки размером с луну, способные разнести на мелкие кусочки целую планету, — это нечто неслыханное; невозможны и мечи из внезапно затвердевающего светового луча. Все это слишком даже для далекой-далекой галактики. На этот раз Джорджа Лукаса, признанного мастера спецэффектов, немного занесло.

Возможно, в это трудно поверить, но в световой луч можно «запахнуть» неограниченное количество энергии; здесь нет никаких физических ограничений. Создание Звезды смерти или светового меча не противоречит ни одному закону физики. Более того, пучки гамма-излучения, способные взорвать планету, реально существуют в природе. Титанический всплеск излучения, порождаемый далеким таинственным источником гамма-всплесков, способен устроить в глубоком космосе взрыв, уступающий по мощности только самому Большому взрыву. Любая планета, которую угораздит оказаться в прицеле такой «пушки», действительно будет поджарена или разорвана на куски.

Лучевое оружие в истории

Мечта обуздать энергию излучения на самом деле совсем не нова; ее корни уходят в древнюю религию и мифологию. Греческий бог Зевс знаменит тем, что стрелял в смертных молниями. Северный бог Тор владел волшебным молотом, Мьёллиром, способным метать молнии, а индуистский бог Индра выстреливал энергетическим лучом из волшебного копья.

Представление о луче как реальном практическом оружии впервые появилось в работах великого греческого математика

ФАЗЕРЫ И ЗВЕЗДЫ СМЕРТИ

Архимеда, возможно, величайшего ученого античности, которому удалось разработать собственный вариант примитивного дифференциального исчисления за две тысячи лет до Ньютона и Лейбница. Считается, что в легендарном сражении 214 г. до н.э. против войска римского генерала Марцелла во время Второй Пунической войны Архимед, помогая защищать Сиракузское царство, соорудил большую батарею солнечных рефлекторов, сфокусировал солнечные лучи на парусах вражеских кораблей и таким образом поджег их. (Ученые до сих пор спорят, действительно ли такое лучевое оружие могло работать; несколько групп ученых пытались, с разными результатами, воспроизвести это достижение.)

Лучевые ружья ворвались на страницы научной фантастики в 1889 г. с классическим романом Герберта Уэллса «Война миров». В этом романе пришельцы с Марса уничтожали целые города, направляя на них лучи тепловой энергии из пушек, установленных на их треножниках. Во время Второй мировой войны нацисты, всегда готовые исследовать и взять на вооружение последние достижения техники, чтобы использовать их для завоевания мира, тоже экспериментировали с различными типами лучевых пушек, в том числе с акустическими устройствами, которые при помощи параболических зеркал фокусировали мощные звуковые лучи.

Оружие, представляющее собой сфокусированный световой луч, захватило воображение публики после выхода фильма «Голдфингер» про Джеймса Бонда; это был первый голливудский фильм, где фигурировал лазер. (В нем легендарного британского шпиона привязали к металлическому столу, и мощный лазерный луч медленно приближался к нему, постепенно расплавляя стол у него между ногами и угрожая разрезать героя пополам.)

Первоначально физики только посмеялись над идеей лучевых пушек, высказанной в романе Уэллса, поскольку такие пушки нарушали известные законы оптики. Согласно уравне-

ниям Максвелла, свет, который мы видим вокруг, некогерентен (т. е. представляет собой мешанину из волн с различными частотами и фазами) и быстро рассеивается. Когда-то считалось, что когерентный, сфокусированный, однородный луч света — такой, как луч лазера, — получить невозможно.

Квантовая революция

Все изменилось после появления квантовой теории. Уже в начале XX в. стало ясно, что, хотя законы Ньютона и уравнения Максвелла весьма успешно описывают движение планет и поведение света, существует целый класс явлений, которые они объяснить не в силах. Как ни прискорбно, они ничего не говорили о том, почему материалы проводят электричество, почему металлы плавятся при определенных температурах, почему газы при нагревании излучают свет, почему некоторые вещества при низких температурах обретают сверхпроводимость. Чтобы ответить на любой из этих вопросов, необходимо понимать внутреннюю динамику атомов. Назрела революция. Ньютонова физика после 250 лет владычества ждала своего ниспровержения; одновременно крушение старого кумира должно было возвестить о начале родовых схваток новой физики.

В 1900 г. Макс Планк в Германии высказал предположение о том, что энергия не непрерывна, как считал Ньютон, но существует в виде маленьких дискретных «порций», получивших название «квантов». Затем в 1905 г. Эйнштейн постулировал, что свет тоже состоит из этих крошечных дискретных пакетов (или квантов), позже названных фотонами. При помощи этой простой, но мощной идеи Эйнштейн сумел объяснить фотоэлектрический эффект, а именно почему металлы при облучении светом испускают электроны. Сегодня фотоэлектрический эффект и фотон служат основой для телевидения, лазеров, солнечных батарей и значительной части современной

ФАЗЕРЫ И ЗВЕЗДЫ СМЕРТИ

электроники. (Эйнштейнова теория фотона была настолько революционной, что даже Макс Планк, обычно горячо выступавший в поддержку Эйнштейна, поначалу не мог поверить в нее. Планк писал об Эйнштейне: «Тот факт, что иногда он промахивается... как, к примеру, получилось у него с гипотезой световых квантов, нельзя, по совести, ставить ему в вину».)

Затем в 1913 г. датский физик Нильс Бор дал нам совершенно новую картину атома; атом у Бора напоминал миниатюрную солнечную систему. Но, в отличие от настоящей Солнечной системы электроны в атоме могут двигаться вокруг ядра только в пределах дискретных орбит или оболочек. Когда электрон «перепрыгивает» с одной оболочки на другую, более близкую к ядру и обладающую меньшей энергией, он испускает фотон энергии. И наоборот, когда электрон поглощает фотон с определенной энергией, он «прыгает» выше, на оболочку, расположенную дальше от ядра и обладающую большей энергией.

В 1925 г., с появлением квантовой механики и революционных работ Эрвина Шрёдингера, Вернера Гейзенберга и многих других, родилась почти полная теория атома. Согласно квантовой теории электрон представлял собой частицу, но обладал также ассоциированной волной, что придавало ему одновременно свойства частицы и волны. Волна эта подчинялась так называемому волновому уравнению Шрёдингера, позволявшему рассчитать свойства атома, включая все постулированные Бором «прыжки» электронов.

До 1925 г. атомы считались загадочными объектами; многие, подобно философу Эрнсту Маху, вообще не верили в их существование. После 1925 г. у человека появилась возможность не только заглянуть глубоко в динамику атома, но и вполне достоверно предсказать его свойства. Как ни поразительно, это означало, что, имея под рукой достаточно мощный компьютер, можно вывести свойства химических элементов непосредственно из законов квантовой теории. Точно так же, как ньютонова физика при наличии достаточно большой вычислительной

машины позволила бы ученым рассчитать движение всех небесных тел вселенной, квантовая физика, по утверждениям ученых, давала принципиальную возможность рассчитать все без исключения свойства химических элементов Вселенной. Кроме того, имея достаточно мощный компьютер, можно было бы составить полную волновую функцию человеческого существа.

Мазеры и лазеры

В 1953 г. профессор Чарльз Таунс из Университета Калифорнии в Беркли сумел вместе с коллегами получить первый пучок когерентного излучения, а именно микроволн. Устройство назвали мазером (maser — по первым буквам слов фразы «microwave amplification through stimulated emission of radiation», т. е. «усиление микроволн через стимуляцию излучения».) Позже, в 1964 г., Таунс вместе с русскими физиками Николаем Басовым и Александром Прохоровым получил Нобелевскую премию. Вскоре результаты ученых были распространены и на видимый свет. Так родился лазер. (А вот фазер — это фантастическое устройство, получившее известность благодаря сериалу «Звездный путь».)

Основой лазера служит особая среда, которая собственно и будет передавать лазерный луч; это может быть специальный газ, кристалл или диод. Затем нужно закачать в эту среду энергию извне — при помощи электричества, радиоволн, света или химической реакции. Неожиданный приток энергии возбуждает атомы среды, заставляя электроны поглощать энергию и перепрыгивать на более высокоэнергетичные внешние электронные оболочки.

В таком возбужденном, накачанном состоянии среда становится нестабильной. Если после этого направить сквозь нее луч света, то фотоны луча, сталкиваясь с атомами, вызовут незапланированное сваливание электронов на более низкие орбиты и высвобождение при этом дополнительных фотонов. Эти фотоны, в свою очередь, заставят еще большее число электронов ис-

ФАЗЕРЫ И ЗВЕЗДЫ СМЕРТИ

пустить фотоны — и вскоре начнется цепная реакция «схлопывания» атомов до невозбужденного состояния с практически одновременным высвобождением громадного количества фотонов — триллионов и триллионов их — все в тот же луч. Принципиальная особенность этого процесса состоит в том, что в некоторых веществах при лавинообразном высвобождении все фотоны вибрируют в унисон, т. е. когерентны.

(Представьте себе выстроенные в ряд костяшки домино. В самом низкоэнергетическом состоянии каждая костяшка лежит плашмя на столе. В высокоэнергетическом, накачанном состоянии костяшки стоят вертикально, подобно накачаным атомам среды. Толкнув одну костяшку, вы можете вызвать внезапное одновременное высвобождение всей этой энергии, точно так же, как это происходит при рождении лазерного луча.)

В лазере способны работать лишь некоторые материалы; это означает, что только в особых веществах при столкновении фотона с возбужденным атомом излучается фотон, когерентный первому. Это свойство вещества приводит к тому, что все фотоны в рождающемся потоке вибрируют в унисон, создавая тонкий лазерный луч. (Вопреки распространенной легенде лазерный луч не вечно остается таким же тонким, как в самом начале. К примеру, лазерный луч, выпущенный в Луну, будет по дороге постепенно расширяться и даст на поверхности Луны пятно размером в несколько километров.)

Простой газовый лазер представляет собой трубку со смесью гелия и неона. Когда через трубку пропускают электричество, атомы поглощают энергию и возбуждаются. Затем, если происходит внезапное высвобождение всей запасенной газом энергии, рождается луч когерентного света. Этот луч усиливается при помощи двух зеркал, установленных в обоих концах трубки, так что луч отражается от них по очереди и мечется по трубке из стороны в сторону. Одно из зеркал совершенно непрозрачно, но другое пропускает небольшую долю падающего на него света, выпуская таким образом луч наружу.

Сегодня лазеры можно найти повсюду — и в кассовом аппарате продуктового магазинчика, и в оптико-волоконном кабеле, который обеспечивает вам доступ в Интернет, и в лазерном принтере или CD-плеере, и в современном компьютере. Лазеры используются в хирургии глаза, при удалении татуировок, и даже в косметических салонах. В 2004 г. в мире продано лазеров больше чем на 5,4 млрд долл.

Типы лазеров и их особенности

Новые лазеры сейчас открывают едва ли не каждый день; как правило, речь идет об обнаружении нового вещества, способного работать в лазере, или изобретении нового метода закачки энергии в рабочее тело.

Вопрос в том, годятся ли эти технологии для создания лучевых ружей или световых мечей? Можно ли построить лазер, достаточно большой для обеспечения энергией Звезды смерти? На сегодняшний день существует ошеломляющее разнообразие лазеров, которые можно классифицировать по материалу рабочего тела и способу закачки энергии (это может быть электричество, мощный световой луч, даже химический взрыв). Перечислим несколько типов лазеров.

- Газовые лазеры. Эта категория включает и чрезвычайно распространенные гелий-неоновые лазеры, дающие очень знакомый красный луч. Накачивают их при помощи радиоволн или электричества. Гелий-неоновые лазеры обладают небольшой мощностью. А вот газовые лазеры на углекислом газе можно использовать при подрывных работах, для резки и плавки металлов в тяжелой промышленности; они способны давать чрезвычайно мощный и совершенно невидимый луч.
- Химические лазеры. Эти мощные лазеры заряжаются от химической реакции — к примеру, горения

ФАЗЕРЫ И ЗВЕЗДЫ СМЕРТИ

этилена и трифторида азота NF_3 . Такие лазеры достаточно мощны, чтобы найти применение в военной области. В США химический принцип накачки применяется в воздушных и наземных боевых лазерах, способных давать луч мощностью в миллионы ватт и предназначенных для сбивания в полете ракет малой дальности.

- Экимерные лазеры. Эти лазеры получают энергию также от химической реакции, в которой обычно задействованы инертный газ (т. е. аргон, криптон или ксенон) и какой-нибудь фторид или хлорид. Они дают ультрафиолетовый свет и могут использоваться в электронной промышленности для вытравливания крохотных транзисторов на полупроводниковых чипах, а также в хирургии глаза для проведения тончайших операций по технологии Lasik.

- Твердотельные лазеры. Первый в мире работающий лазер был изготовлен из кристалла рубина (сапфир с примесью хрома, придающей кристаллу розовую окраску). Многие кристаллы при легировании их иттрием, гольмием, тулием и другими химическими элементами способны создавать лазерный луч. Твердотельные лазеры могут давать высокоэнергетические ультракороткие вспышки.

- Полупроводниковые лазеры. Диоды, которые мы так широко используем во всевозможных электронных устройствах, могут давать мощные лазерные лучи, которые используются в промышленности для резки и сварки. Эти же полупроводниковые лазеры работают и в кассовых аппаратах, считывая штрихкоды с выбранных вами товаров.

- Лазеры на красителях. В этих лазерах в качестве рабочего тела используются органические красители. Они исключительно полезны в получении ультра-

коротких импульсов света, которые часто имеют длительность порядка одной триллионной доли секунды.

Лазеры и лучевые ружья?

Принимая во внимание огромное разнообразие коммерческих лазеров и мощь лазеров военных, трудно не задаться вопросом: почему у нас нет лучевых ружей и пушек, пригодных к использованию на поле боя? В фантастических фильмах лучевые ружья и пистолеты того или иного сорта, как правило, являются самым распространенным и привычным оружием. Почему мы не работаем над созданием такого оружия?

Простой ответ на этот вопрос заключается в отсутствии у нас портативных источников энергии достаточной мощности. Это не пустяк. Для лучевого оружия потребовались бы миниатюрные батареи размером с ладонь, но соответствующие при этом по мощности громадной электростанции. В настоящее время единственный способ получить в пользование мощность крупной электростанции — построить таковую. А самый маленький военный прибор, способный служить вместилищем для подобных энергий, — миниатюрная водородная бомба, которая, к несчастью, может уничтожить не только цель, но и вас самих.

Существует и вторая проблема — стабильность излучающего вещества, или рабочего тела. Теоретически количество энергии, которое можно закачать в лазер, ничем не ограничено. Но проблема в том, что рабочее тело ручного лазерного пистолета оказалось бы нестабильным. Кристаллические лазеры, к примеру, перегреваются и трескаются, если закачать в них слишком много энергии. Следовательно, для создания чрезвычайно мощного лазера — такого, что способен был бы испарить предмет или нейтрализовать противника, — потребуется, возможно, использовать энергию взрыва. В этом случае, естественно, о стабильности рабочего тела можно уже не думать, ведь наш лазер будет одноразовым.

ФАЗЕРЫ И ЗВЕЗДЫ СМЕРТИ

Проблемы с созданием портативных источников энергии и стабильных излучающих материалов делают существование лучевых ружей невозможным при нынешнем уровне техники. Вообще, лучевую пушку создать можно, только если подвести к ней кабель от источника энергии. Возможно, с применением нанотехнологий мы сможем когда-нибудь создать миниатюрные батареи, способные хранить или генерировать энергию, которой хватило бы для создания мощных всплесков — необходимого атрибута ручного лазерного оружия. В настоящее время, как мы уже убедились, нанотехнологии пребывают в зачаточном состоянии. Да, ученым удалось создать на атомном уровне кое-какие устройства — очень остроумные, но совершенно непрактичные, такие как атомные счеты или атомная гитара. Но вполне может так случиться, что еще в этом или, скажем, в следующем веке нанотехнологии действительно дадут нам миниатюрные батареи для хранения сказочного количества энергии.

Со световыми мечами та же проблема. После выхода в 1970 г. фильма «Звездные войны» игрушечные световые мечи мгновенно обрели немислимую популярность среди мальчишек. Многие критики сочли своим долгом указать, что в реальности такие устройства невозможны. Во-первых, свет невозможно сделать твердым. Свет движется со скоростью света, поэтому отвердить его невозможно. Во-вторых, луч света не может резко обрываться в пространстве, как это делают световые мечи в «Звездных войнах». Луч света невозможно остановить, он вечно находится в движении; реальный световой меч уходил бы далеко в небо.

На самом деле существует способ изготовить своего рода световой меч из плазмы, или перегретого ионизированного газа. Если плазму разогреть в достаточной степени, она будет светиться в темноте и резать сталь, кстати говоря, тоже. Плазменный световой меч мог бы представлять собой тонкую телескопическую трубку, которая выдвигается из рукоятки.

В трубку из рукоятки выпускается горячая плазма, которая затем выходит наружу через маленькие отверстия по всей длине «клинка». Плазма, поднимаясь из рукоятки вдоль клинка и выходя наружу, образует длинный светящийся цилиндр перегретого газа, достаточно горячего, чтобы плавить сталь. Такое устройство иногда называют плазменным факелом.

Таким образом, мы можем создать высокоэнергетическое устройство, напоминающее световой меч. Но здесь, как и в ситуации с лучевыми ружьями, придется сначала обзавестись мощной портативной батареей. Так что или вы при помощи нанотехнологий создадите миниатюрную батарею, способную снабжать ваш световой меч громадным количеством энергии, или вам придется соединить его с источником энергии при помощи длинного кабеля.

Итак, хотя лучевые ружья и световые мечи можно в какой-то форме создать и сегодня, ручное оружие, которое мы видим в научно-фантастических фильмах, при современном уровне техники невозможно. Но позже в этом веке или, может быть, в следующем развитие науки о материалах и нанотехнологий вполне может привести к созданию того или иного вида лучевого оружия, что позволяет нам определить его как невозможность I класса.

Энергия для Звезды смерти

Чтобы построить Звезду смерти — лазерную пушку, способную уничтожить целую планету и навести ужас на галактику, как показано в «Звездных войнах», необходимо создать самый мощный лазер, какой только можно представить. В настоящее время самые мощные, наверное, на Земле лазеры используются для получения температур, которые в природе можно обнаружить только в ядрах звезд. Возможно, эти лазеры и основанные на них реакторы синтеза когда-нибудь помогут нам на Земле обуздать звездную энергию.

ФАЗЕРЫ И ЗВЕЗДЫ СМЕРТИ

В реакторах синтеза ученые пытаются воспроизвести процессы, которые происходят в космосе при формировании звезды. Поначалу звезда возникает как громадный шар неформленного водорода. Затем гравитационные силы сжимают газ и тем самым разогревают его; постепенно температура внутри достигает астрономических значений. К примеру, глубоко в сердце звезды температура может вырасти до 50–100 млн градусов. Там достаточно жарко, чтобы ядра водорода начали слипаться друг с другом; при этом возникают ядра гелия и выделяется энергия. В процессе синтеза гелия из водорода небольшая часть массы превращается в энергию согласно знаменитой формуле Эйнштейна $E = mc^2$. Это и есть источник, из которого звезда черпает свою энергию.

В настоящее время ученые пытаются обуздать энергию ядерного синтеза двумя путями. Оба пути оказались куда более сложными для реализации, чем представлялось ранее.

Инерционное удержание для лазерного термоядерного синтеза

Первый метод основан на так называемом инерционном удержании. При помощи самых мощных на Земле лазеров в лаборатории искусственно создается кусочек солнца. Твердотельный лазер на неодимовом стекле идеально подходит для воспроизведения высочайших температур, которые можно обнаружить только в ядрах звезд. В эксперименте используются лазерные системы размером с хороший завод; целая батарея лазеров, входящих в такую систему, выстреливает в длинный туннель серию параллельных лучей. Затем эти мощные лазерные лучи отражаются от системы небольших зеркал, установленных вокруг сферического объема. Зеркала точно фокусируют все лазерные лучи, направляя их на крошечный шарик из богатого водородом вещества (такого, как дейтерид лития, активное вещество водородной бомбы). Обычно

ФИЗИКА НЕВОЗМОЖНОГО

ученые используют шарик размером с булавоочную головку и весом всего около 10 мг.

Лазерная вспышка мгновенно разогревает поверхность шарика, вызывая испарение верхнего слоя вещества и резкое сжатие шарика. Он «схлопывается», и возникающая при этом ударная волна доходит до самого его центра и заставляет температуру внутри шарика подскочить до миллионов градусов — уровня, необходимого для слияния ядер водорода с образованием ядер гелия. Температура и давление достигают таких астрономических значений, что выполняется критерий Лоусона, тот самый, который выполняется также в ядрах звезд и при взрывах водородных бомб. (Критерий Лоусона утверждает, что для запуска термоядерной реакции синтеза в водородной бомбе, в звезде или в реакторе должны быть достигнуты определенные уровни температуры, плотности и времени удержания.)

В процессе термоядерного синтеза с инерционным удержанием высвобождается громадное количество энергии, в том числе в виде нейтронов. (Температура дейтерида лития может достигать 100 млн градусов по шкале Цельсия, а плотность — двадцатикратной плотности свинца.) Происходит всплеск нейтронного излучения от шарика. Нейтроны попадают в сферическое «одеяло» из вещества, окружающее камеру реактора, и нагревают его. Затем полученное тепло используется для кипячения воды, а пар уже можно использовать для вращения турбины и получения электричества.

Проблема, однако, состоит в том, чтобы сфокусировать высокоэнергетические лучи и равномерно распределить их излучение по поверхности крошечного шарика. Первой серьезной попыткой лазерного термоядерного синтеза стала «Шива» — двадцатилучевая лазерная система, построенная в Ливерморской национальной лаборатории имени Лоуренса (LLNL) и запущенная в 1978 г. (Шива — многорукая богиня индуистского пантеона, которую напоминает многолучевая лазерная система.) Результаты работы лазерной системы «Шива» оказа-

ФАЗЕРЫ И ЗВЕЗДЫ СМЕРТИ

лись обескураживающими; тем не менее с ее помощью удалось доказать, что лазерный термоядерный синтез технически возможен. Позже на смену «Шиве» пришел лазер «Нова», десятикратно превосходивший «Шиву» по мощности. Но и «Нова» оказалась не в состоянии обеспечить водородному шарикю должное зажигание. Как бы то ни было, обе эти системы проложили путь к намеченным исследованиям на новой установке National Ignition Facility (NIF), сооружение которой началось в LLNL в 1997 г.

Предполагается, что работа NIF начнется в 2009 г. Эта чудовищная машина представляет собой батарею из 192 лазеров, которые выдают в коротком импульсе громадную мощность 700 трлн ватт (суммарный выход примерно 70 0000 крупных атомных энергоблоков). Это новейшая лазерная система, разработанная специально для полного термоядерного сжигания насыщенных водородом шариков. (Критики указывают также на ее очевидное военное значение — ведь такая система способна имитировать процесс детонации водородной бомбы; возможно, она позволит создать ядерное оружие нового типа — бомбу, основанную исключительно на процессе синтеза, для детонации которой уже не нужен урановый или плутониевый атомный заряд.)

Но даже система NIF, предназначенная для обеспечения процесса термоядерного синтеза и имеющая в своем составе самые мощные на Земле лазеры, не может хотя бы отдаленно сравниться по мощи с разрушительной силой Звезды смерти, известной нам по «Звездным войнам». Для создания подобного устройства нам придется поискать другие источники энергии.

Магнитное удержание для термоядерного синтеза

Второй метод, который в принципе могли бы использовать ученые для обеспечения Звезды смерти энергией, известен как магнитное удержание — процесс, при котором горячая водородная плазма удерживается на месте при помощи магнитного поля.

ФИЗИКА НЕВОЗМОЖНОГО

Именно этот метод, вполне возможно, послужит прототипом для первых коммерческих термоядерных реакторов. В настоящее время самый продвинутый проект этого типа — Международный термоядерный экспериментальный реактор (ITER, International Thermonuclear Experimental Reactor). В 2006 г. несколько стран (в том числе Европейский союз, Соединенные Штаты, Китай, Япония, Корея, Россия и Индия) решили построить такой реактор в Кадараше на юге Франции. В нем водород должен разогреваться до 100 млн градусов по Цельсию. Не исключено, что ITER станет первым термоядерным реактором в истории, которому удастся произвести энергии больше, чем потребить. Он рассчитан на производство 500 МВт мощности в течение 500 с (текущий рекорд составляет 16 МВт мощности в течение одной секунды). Планируется, что первая плазма будет получена в ITER к 2016 г., а полностью установка вступит в строй в 2022 г. Проект стоит 12 млрд долл. и является третьим по стоимости научным проектом в истории (после Манхэттенского проекта и Международной космической станции).

С виду установка ITER похожа на большой бублик, оплетенный снаружи громадными кольцами электрической обмотки; внутри бублика циркулирует водород. Обмотку охлаждают до состояния сверхпроводимости, а затем закачивают в нее гигантское количество электроэнергии, создавая магнитное поле, которое и удерживает плазму внутри бублика. Когда же электрический ток пропускают непосредственно через бублик, газ внутри его нагревается до звездных температур.

Причина, по которой ученые так заинтересованы в проекте ITER, проста: в перспективе он обещает создание дешевых источников энергии. Топливом для термоядерных реакторов служит обычная морская вода, богатая водородом. Получается, по крайней мере на бумаге, что термоядерный синтез может обеспечить нас дешевым и неистощимым источником энергии.

Так почему же у нас до сих пор нет реакторов термоядерного синтеза? Почему уже несколько десятилетий — с того мо-

ФАЗЕРЫ И ЗВЕЗДЫ СМЕРТИ

мента, как в 1950-х гг. была разработана схема процесса — мы не можем добиться реальных результатов? Проблема в том, что равномерно сжать водородное топливо невероятно трудно. В ядрах звезд гравитация заставляет водород принимать идеальную сферическую форму, в результате чего газ прогревается чисто и равномерно.

Лазерный термоядерный синтез в установке NIF требует, чтобы лучи лазеров, воспламеняющие поверхность водородного шарика, были совершенно одинаковыми, а добиться этого чрезвычайно трудно. В установках с магнитным удержанием большую роль приобретает тот факт, что магнитное поле имеет северный и южный полюса; в результате равномерно сжать газ в правильную сферу чрезвычайно трудно.

Лучшее, что мы способны создать, — это магнитное поле в форме бублика. Но процесс сжатия газа напоминает сжимание в руках воздушного шарика. Каждый раз, когда вы сжимаете шарик с одного конца, воздух выпячивает его в другом месте. Сжимать шарик одновременно и равномерно во всех направлениях — непростая задача. Горячий газ, как правило, утекает из магнитной бутылки; рано или поздно он достигает стен реактора, и процесс термоядерного синтеза прекращается. Именно поэтому так трудно сжать водород в достаточной степени и удерживать его сжатым даже в течение секунды.

В отличие от современных атомных станций, где происходит расщепление атомов, реактор термоядерного синтеза не будет давать большого количества ядерных отходов. (Каждый из традиционных атомных энергоблоков производит в год 30 т чрезвычайно опасных ядерных отходов. В противовес этому ядерные отходы термоядерного реактора по большей части будут представлять собой радиоактивную сталь, которая останется после его разборки.)

Не стоит надеяться, что в ближайшее время термоядерный синтез полностью решит энергетические проблемы Земли. Француз Пьер-Жилль де Женн, нобелевский лауреат в области

физики, говорит: «Мы говорим, что положим Солнце в ящик. Красивая идея. Проблема в том, что мы не знаем, как сделать этот ящик». Но исследователи надеются, что, если все пойдет хорошо, лет через сорок ITER поможет ученым проложить путь к коммерческому производству термоядерной энергии — энергии, которая однажды может стать источником электричества для наших домов. Когда-нибудь, возможно, термоядерные реакторы позволят нам на Земле безопасно пользоваться звездной энергией и смягчат тем самым наши энергетические проблемы.

Но даже термоядерные реакторы с магнитным удержанием не смогут обеспечить энергией оружие, подобное Звезде смерти. Для этого потребуются совершенно новые разработки.

Рентгеновские лазеры с ядерной накачкой

Существует еще одна возможность построить лазерную пушку Звезды смерти на основании сегодняшних технологий — при помощи водородной бомбы. Батарея рентгеновских лазеров, обуздывающих и фокусирующих мощь ядерного оружия, могла бы в теории дать достаточно энергии для работы устройства, способного взорвать целую планету.

Ядерные реакции высвобождают примерно в 100 млн раз больше энергии на единицу массы, чем химические. Куска обогашенного урана размером не больше теннисного мяча хватило бы, чтобы спалить в огненном вихре целый город, несмотря на то что в энергию превращается всего 1% массы урана. Как мы уже говорили, существует множество способов закачки энергии в рабочее тело лазера, а значит, и в лазерный луч. Самый мощный из этих способов — гораздо более мощный, чем все остальные, — заключается в использовании энергии взрыва ядерной бомбы.

Рентгеновские лазеры имеют громадное значение, как военное, так и научное. Очень маленькая длина волны рентгеновского излучения позволяет использовать такие лазеры для

ФАЗЕРЫ И ЗВЕЗДЫ СМЕРТИ

зондирования на атомных расстояниях и дешифровки атомной структуры сложных молекул, что чрезвычайно сложно делать обычными методами. Возможность «видеть» атомы в движении и различать их расположение внутри молекулы заставляет совершенно по-новому взглянуть на химические реакции.

Водородная бомба испускает громадное количество энергии в виде рентгеновского излучения, поэтому рентгеновские лазеры можно накачивать энергией ядерного взрыва. В науке с рентгеновскими лазерами теснее всего связан Эдвард Теллер, «отец» водородной бомбы.

Между прочим, именно Теллер в 1950-е гг. свидетельствовал перед конгрессом, что Роберту Оппенгеймеру, возглавлявшему до этого Манхэттенский проект, нельзя доверить дальнейшую работу над водородной бомбой из-за его политических взглядов. Показания Теллера привели к тому, что Оппенгеймер был опорочен и лишен допуска к секретным материалам; многие видные физики так и не смогли простить этого Теллеру.

(Мои собственные контакты с Теллером начались еще в старших классах школы. Я тогда провел серию экспериментов по природе антиматерии, выиграл главный приз на научной ярмарке в Сан-Франциско и поездку на Национальную научную ярмарку в Альбукерке, штат Нью-Мексико. Вместе с Теллером, который всегда уделял внимание талантливым молодым физикам, я принял участие в передаче местного телевидения. Позже я получил от Теллера инженерную стипендию имени Герца, которая помогла мне оплатить обучение в Гарварде. Несколько раз в год я ездил к Теллеру домой, в Беркли, и там довольно близко познакомился с его семьей.)

Принципиально рентгеновский лазер Теллера представляет собой небольшую ядерную бомбу, окруженную медными стержнями. Взрыв ядерного боеприпаса порождает сферическую взрывную волну интенсивного рентгеновского излучения. Эти лучи высокой энергии проходят через медные стержни, которые играют роль рабочего тела лазера и фокусируют

ФИЗИКА НЕВОЗМОЖНОГО

энергию рентгеновского излучения в мощные пучки. Полученные рентгеновские лучи можно затем направить на вражеские боеголовки. Конечно, такое устройство можно использовать только один раз, поскольку ядерный взрыв приведет к саморазрушению рентгеновского лазера.

Первое испытание рентгеновского лазера, получившее название «тест Кабра» (Cabra), было проведено в 1983 г. В подземной шахте была взорвана водородная бомба, а затем беспорядочный поток рентгеновского излучения от нее был сфокусирован и превращен в когерентный рентгеновский лазерный пучок. Первоначально испытания были признаны успешными; фактически именно этот успех в 1983 г. вдохновил президента Рейгана на историческое заявление о намерении построить оборонительный щит из «Звездных войн». Так была запущена многомиллиардная программа строительства сети устройств, подобных рентгеновским лазерам с ядерной накачкой, для сбивания вражеских межконтинентальных баллистических ракет. Работы по этой программе продолжаются и сегодня. (Позже выяснилось, что датчик, предназначенный для регистрации и измерения излучения во время исторического испытания, был разрушен; таким образом, его показаниям доверять было нельзя.)

Можно ли на самом деле сбивать боеголовки баллистических ракет при помощи такого нетривиального устройства? Не исключено. Но не следует забывать, что неприятель может придумать множество простых и недорогих способов нейтрализации подобного оружия (так, можно было бы обмануть радар, выпустив миллионы дешевых ложных целей; или придать боеголовке вращение, чтобы рассеять таким образом рентгеновское излучение; или придумать химическое покрытие, которое защитило бы боеголовку от рентгеновского луча). В конце концов, противник мог бы просто наладить массовое производство боеголовок, которые пробили бы щит «Звездных войн» просто за счет своего количества.

ФАЗЕРЫ И ЗВЕЗДЫ СМЕРТИ

Поэтому рентгеновские лазеры с ядерной накачкой на данный момент не в состоянии защитить от ракетного нападения. Но можно ли создать на их основе Звезду смерти, способную уничтожить целую планету или стать действенным средством защиты от приближающегося астероида?

Физика Звезды смерти

Можно ли создать оружие, способное уничтожить целую планету, как в «Звездных войнах»? В теории ответ прост: да. Причем несколькими путями.

Для энергии, высвобождаемой при взрыве водородной бомбы, нет никаких физических ограничений. Вот как это происходит. (Подробное описание водородной бомбы даже сегодня правительство США относит к высшей категории секретности, но в общих чертах ее устройство достаточно хорошо известно.) Водородная бомба изготавливается в несколько этапов. Объединив нужное количество этапов в надлежащей последовательности, можно получить ядерную бомбу почти любой наперед заданной мощности.

Первый этап — стандартная бомба на реакции деления, или атомная бомба; в ней энергия урана-235 используется для генерации всплеска рентгеновского излучения, как это произошло в Хиросиме. За долю секунды до того, как взрыв атомной бомбы разнесет все в клочья, появляется расширяющаяся сфера мощного рентгеновского импульса. Это излучение обгоняет собственно взрыв (так как движется со скоростью света); его успевают сфокусировать заново и направить на контейнер с дейтеридом лития — активным веществом водородной бомбы. (Как именно это делается — все еще государственная тайна.) Рентгеновское излучение падает на дейтерид лития, заставляет его мгновенно сжаться и разогревает до миллионов градусов, вызывая тем самым второй взрыв, гораздо мощнее первого. Всплеск рентгеновского излучения,

ФИЗИКА НЕВОЗМОЖНОГО

возникающий при этом втором взрыве, можно затем перефокусировать на вторую порцию дейтерида лития и вызвать третий взрыв. Вот принцип, в соответствии с которым можно поместить рядом множество контейнеров с дейтеридом лития и получить водородную бомбу невообразимой мощности. Так, самой мощной бомбой в истории человечества была двухступенчатая водородная бомба, которую взорвал в 1961 г. Советский Союз. Тогда произошел взрыв мощностью 50 млн т в тротиловом эквиваленте, хотя теоретически эта бомба способна была дать мощность более чем в 100 мегатонн тротила (что примерно в 5000 раз больше мощности бомбы, сброшенной на Хиросиму).

Однако для воспламенения целой планеты нужны совсем другие мощности. Для этого Звезде смерти пришлось бы запустить в космос тысячи таких рентгеновских лазеров, которые затем должны были бы выстрелить одновременно. (Для сравнения скажем, что в разгар холодной войны Соединенные Штаты и Советский Союз накопили примерно по 30 000 ядерных бомб.) Суммарной энергии такого громадного числа рентгеновских лазеров хватило бы, чтобы воспламенить поверхность планеты. Поэтому Галактическая империя будущего, отстоящая от нас на сотни тысяч лет, смогла бы, разумеется, создать такое оружие.

Для высокоразвитой цивилизации есть и другой путь: создать Звезду смерти, которая бы использовала энергию космического источника гамма-всплесков. От такой Звезды смерти исходила бы вспышка излучения, по мощности уступающая только Большому взрыву. Источники гамма-всплесков — это природное явление, они существуют в космосе; тем не менее вполне представимо, что когда-нибудь развитая цивилизация сможет обуздать их громадную энергию. Не исключено, что если взять под контроль вращение звезды задолго до ее коллапса и рождения гиперновой, то можно будет направить «выстрел» источника гамма-всплесков в любую точку пространства.

Источники гамма-всплесков

Космические источники гамма-всплесков были впервые замечены в 1970-х гг. на запущенных американскими военными спутниках «Вела» (Vela), предназначенных для обнаружения «лишних вспышек» — свидетельств незаконного взрыва ядерной бомбы. Но вместо вспышек на поверхности Земли спутники регистрировали гигантские всплески излучения из космоса. Первоначально неожиданное открытие вызвало в Пентагоне настоящую панику: неужели Советы испытывают новое ядерное оружие в дальнем космосе? Позже было установлено, что всплески поступают равномерно со всех направлений небесной сферы; это означало, что на самом деле они приходят в галактику Млечный Путь извне¹. Но, если предположить действительно внегалактическое происхождение всплесков, то мощность их получится поистине астрономической — ведь они способны «осветить» всю видимую вселенную.

После развала Советского Союза в 1990 г. Пентагон неожиданно рассекретил громадное количество астрономических данных². Астрономы были поражены. Они внезапно поняли, что перед ними новое загадочное явление из тех, что заставляют время от времени переписывать учебники и справочники.

Продолжительность гамма-всплесков невелика и составляет от нескольких секунд до нескольких минут, поэтому для их обнаружения и анализа необходима тщательно организованная система датчиков. Сначала спутники регистрируют всплеск гамма-излучения и посылают на Землю точные координаты источника. Полученные координаты передаются на оптические

¹ Точнее — что гамма-всплески не связаны со структурой нашей Галактики и поэтому происходят либо сравнительно близко от нас, либо чрезвычайно далеко. Доказательство того, что источники гамма-всплесков удалены от нас на миллиарды световых лет, было получено только в 1997 г. — *Прим. пер.*

² Советский Союз распался в 1991 г., а первая публикация по гамма-всплескам появилась в 1973 г. и описывала 16 таких явлений, наблюдавшихся в период с июля 1969 г. по июль 1972 г. — *Прим. пер.*

ФИЗИКА НЕВОЗМОЖНОГО

или радиотелескопы, которые, в свою очередь, наводятся на указанную точку небесной сферы.

Хотя в настоящий момент о гамма-всплесках известно далеко не все, одна из теорий их происхождения гласит, что источники гамма-всплесков — «гиперновые» необычайной силы, оставляющие после себя массивные черные дыры. В этом случае получается, что источники гамма-всплесков — чудовищные черные дыры в стадии формирования.

Но черные дыры испускают два джета, два потока излучения, из южного полюса и из северного, как у вращающегося волчка. Излучение гамма-всплеска, который мы регистрируем, принадлежит, очевидно, одному из этих потоков — тому, который оказался направлен в сторону Земли. Если бы поток гамма-излучения от такого источника оказался бы направлен точно на Землю, а сам источник находился бы в нашей галактической окрестности (на расстоянии нескольких сотен световых лет от Земли), его мощности хватило бы, чтобы полностью уничтожить жизнь на нашей планете.

Сначала электромагнитный импульс, созданный рентгеновским излучением от источника гамма-всплесков, вывел бы из строя все электронное оборудование на Земле. Мощный луч рентгеновского и гамма-излучения нанес бы земной атмосфере непоправимый вред, уничтожив защитный озоновый слой. Затем поток гамма-излучения разогрел бы поверхность Земли, вызвав чудовищные огненные бури, которые со временем охватили бы всю планету. Может быть, источник гамма-всплесков и не взорвал бы планету, как показано в фильме «Звездные войны», но наверняка уничтожил бы на ней все живое, оставив после себя обугленную пустыню.

Можно предположить, что цивилизация, опередившая нас в развитии на сотни миллионов лет, научится направлять подобные черные дыры на желаемую цель. Этого можно добиться, если научиться управлять движением планет и нейтронных звезд и направлять их в умирающую звезду под точно расчи-

ФАЗЕРЫ И ЗВЕЗДЫ СМЕРТИ

танным углом непосредственно перед коллапсом. Относительно небольших усилий будет достаточно, чтобы отклонить ось вращения звезды и нацелить ее в нужном направлении. Тогда умирающая звезда превратится в самую большую лучевую пушку, какую только можно представить.

Подведем итог. Использование мощных лазеров для создания портативного или ручного лучевого оружия и световых мечей следует отнести к I классу невозможности — по всей видимости, это станет возможным в недалеком будущем или, скажем, в ближайшие сто лет. Но чрезвычайно сложная задача нацеливания вращающейся звезды перед взрывом и превращением ее в черную дыру, т. е. преобразование ее в Звезду смерти, должна рассматриваться как невозможность II класса — нечто, что не противоречит явно законам физики (ведь источники гамма-всплесков существуют в реальности), но может быть реализовано только далеко в будущем, через тысячи или даже миллионы лет.